

Uzroci požara i eksplozija na spremnicima sa zapaljivim kapljevina

Horak, Davor

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:612003>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-06**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu
Odjel Sigurnosti i zaštite
Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Davor Horak

**UZROCI POŽARA I EKSPLOZIJA NA
SPREMNICIMA SA ZAPALJIVIM
KAPLJEVINAMA**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2016.

Karlovac University of Applied Sciences
Safety and Protection Department
Professional graduate study of Safety and Protection

Davor Horak

**CAUSES OF FIRES AND EXPLOSIONS
ON THE STORAGE TANKS
CONTAINING
FLAMMABLE LIQUIDS**

FINAL PAPER

Karlovac, 2016

Veleučilište u Karlovcu
Odjel Sigurnosti i zaštite
Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Davor Horak

**UZROCI POŽARA I EKSPLOZIJA NA
SPREMNICIMA SA ZAPALJIVIM
KAPLJEVINAMA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: mr.sc. Damir Kulišić, dipl.ing.kem.

Karlovac, 2016.



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Trg J.J. Strossmayera 9
HR-47000, Karlovac, Croatia
Tel. +385 – (0)47 – 843 – 510
Fax. +385 – (0)47 – 843 – 579



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Usmjerenje: Zaštita od požara

Karlovac, 2016.

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Davor Horak

Matični broj: 0420413026

Naslov: **Uzroci požara i eksplozija na spremnicima sa zapaljivim kapljevinama**

Opis zadatka:

1. UVOD
2. ZAPALJIVE KAPLJEVINE
3. ZNAKOVITI UZROCI NEZGODA, NESREĆA, POŽARA I EKSPLOZIJA OD POSEBNOG ISTRAŽNOG I FORENZIČNOG INTERESA
4. PRIMJENA SUVREMENIH METODA I TEHNIKA ZA RAŠČLANJIVANJE OPASNOSTI I PROSUĐIVANJE RIZIKA PRI ISTRAŽIVANJU I FORENZIČNOM UTVRĐIVANJU UZROKA POŽARA I EKSPLOZIJA
5. ZNAKOVITI PRIMJERI POŽARA, EKSPLOZIJA I HAVARIJA (PEH) NA SPREMNICIMA SA ZAPALJIVIM KAPLJEVINAMA I NJIHOVI UZROCI
6. ZAKLJUČAK

Zadatak zadan:
07/2016.

Rok predaje rada:
09/2016.

Predviđeni datum obrane:
10/2016.

Mentor:
mr.sc. Damir Kulišić, dipl.ing.kem.

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:
Prof. dr.sc. Zlatko Jurac

PREDGOVOR

Tijekom izrade ovoga Završnog rada nastojao sam obuhvatiti osnovnu problematiku kolegija *Metode istraživanja požara i eksplozija* te znanje i znanstvene metode stečene pod budnim okom nositelja kolegija i mentora, poštovanog profesora mr.sc. Damira Kulišića, opisati i primijeniti na konkretne primjere iz prakse.

Mentorov sustavni pristup i metodičnost kojima se koristi pri nesebičnom prenošenju znanja i istraživanju stanovite problematike u području zaštite od požara će mi uvijek služiti kao temelj u daljnjem radu i konstantnom stručnom usavršavanju na polju cjelokupnog sustava Sigurnosti i zaštite.

Ovaj rad posvećujem svojoj obitelji koja mi je omogućila petogodišnji studij na Veleučilištu u Karlovcu, prijateljima i svima onima koji su me bodrili u trenucima kada je to bilo najpotrebnije, a tim više kako se studij približavao kraju.

SAŽETAK

U teorijskom dijelu Završnoga rada opisana su temeljna obilježja zapaljivih kapljevina te je ukazano na moguće požarne i eksplozijske opasnosti koje se mogu pojaviti u svakom postrojenju sa spremnicima u kojemu se rukuje s velikim količinama takvih opasnih tvari. Posebna pozornost posvećena je predočavanju znakovitih uzroka procesnih/tehnoloških nezgoda i nesreća koji mogu rezultirati nastankom požara i/ili eksplozije zapaljivih kapljevina, pa su od posebnog istražnog i forenzičnog interesa. Radom je dat i pregled svih onih „praktičkih“ izvora energije paljenja s kojima se objektivno mogu susresti istražitelji i forenzičari pri istraživanjima slučajeva požara i eksplozija.

Ekperimentalni dio Završnoga rada sadrži prikaze rabljenih pristupa i metoda/tehnika istražiteljskog rada te rezultata ekspertnih istražnih studija triju slučajeva velikih požara i eksplozija spremnika sa zapaljivim kapljevinama iz suvremene američke i britanske istražiteljske prakse, temeljene na počelima istražiteljskog rada i stručnim znanjima predočenim teorijskim dijelom ovog rada.

Ključne riječi: zapaljive kapljevine, spremnici, požar, eksplozija, zapaljive i eksplozivne smjese para, mogući izvori energije paljenja.

SUMMARY

In the theoretical part of The Final Paper basic features of flammable liquids have been described and it's been pointed to possible fire and explosion dangers which can turn up in every factory with storage tanks involving big amounts of such dangerous substances. Special attention has been paid to presenting significant causes of process/technological accidents and disasters which can result in fire and/or flammable liquids explosions and are of particular investigative and forensic interest. The Paper has given a review of all “practical” ignition sources which investigators and forensic experts can come across with when investigating fire and explosion cases.

The experimental part of The Final Paper contains displays of used approaches and methods/techniques for investigative work and the results of expert investigative studies of three big fires and flammable liquids tank explosion cases in contemporary American and British investigative practice, based on origins of investigative work and expert knowledge presented in the theoretical part of the Paper.

Keywords: flammable liquids, storage tanks, fire, explosion, flammable and explosive mixtures of vapours, possible ignition sources.

SADRŽAJ

Stranica

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA.....	I
PREDGOVOR.....	II
SAŽETAK.....	III
SADRŽAJ.....	IV
1. UVOD.....	1
1.1 Predmet i cilj rada.....	2
1.2 Izvori podataka i metode prikupljanja	2
2. ZAPALJIVE KAPLJEVINE.....	3
2.1 Etimologija riječi „kapljevina“ i „tekućina“	3
2.2 Podjela zapaljivih kapljevina.....	3
2.3 Obilježja zapaljivih kapljevina.....	4
2.4 Zapaljive i eksplozivne smjese	5
2.5 Postrojenja sa zapaljivim kapljevinama	9
3. ZNAKOVITI UZROCI NEZGODA, NESREĆA, POŽARA I EKSPLOZIJA OD POSEBNOG ISTRAŽNOG I FORENZIČNOG INTERESA	12
3.1 Sustav razvrstavanja uzroka požara, eksplozija, havarija i nesreća pri radu tehničke i tehnološke naravi od posebnog interesa za stručnu istražiteljsku i forenzičnu praksu.....	12
3.2 Istražno i forenzično posebno važno i korisno razvrstavanje „ <i>praktičkih</i> “ <i>izvora energije paljenja</i>	19
4. PRIMJENA SUVREMENIH METODA I TEHNIKA ZA RAŠČLANJIVANJE OPASNOSTI I PROSUĐIVANJE RIZIKA PRI ISTRAŽIVANJU I FORENZIČNOM UTVRĐIVANJU UZROKA POŽARA I EKSPLOZIJA	31
4.1 Dijagram uzroka i posljedica.....	33
4.2 Sustavi sigurnosnih i zaštitnih zaprjeka (barijera).....	36
5. ZNAKOVITI PRIMJERI POŽARA, EKSPLOZIJA I TEHNOLOŠKIH HAVARIJA (PEH) NA SPREMNICIMA SA ZAPALJIVIM KAPLJEVINAMA..	38
5.1 Eksplozija oblaka para benzina u britanskom naftnom terminalu „ <i>Buncefield</i> “	38
5.1.1 Obilježja naftnog terminala „ <i>Buncefield</i> “.....	39
5.1.2 Faktografska rekonstrukcija slijeda zbivanja	41
5.1.3 Stručni nalaz vještaka za utvrđivanje uzroka, uvjeta i okolnosti nastanka požara i eksplozije.....	44

5.1.3.1 Uređaj za osiguranje od prepunivanja spremnika (<i>IHLS</i>).....	44
5.1.3.2 Automatski uređaj za pokazivanje razine napunjenosti spremnika (<i>ATG</i>).....	46
5.1.3.3 Sabirni prostori	46
5.1.3.4 Izvor energije paljenja.....	49
5.1.4 Kritička raščlamba stručnog nalaza i mišljenja vještaka	49
5.2 Eksplozija u pogonu obrade otpadnih voda tvrtke „ <i>Bethune Point</i> “, Daytona Beach (<i>SAD</i>)	51
5.2.1 Faktografska rekonstrukcija slijeda zbivanja	51
5.2.2 Stručni nalaz vještaka za utvrđivanje uzroka, uvjeta i okolnosti nastanka požara i eksplozije.....	53
5.2.2.1 Oprema nadzemnog spremnika s metanolom.....	53
5.2.2.2 Standardi i tehničke specifikacije cjevovoda u sustavima sa zapaljivim kapljevinama	54
5.2.2.3 Kvar na cjevovodu.....	55
5.2.2.4 Hvatač plamena	57
5.2.3 Kritička raščlamba stručnog nalaza i mišljenja vještaka	60
5.3 Eksplozija spremnika u kemijskom postrojenju „ <i>Barton Solvents Inc.</i> “	61
5.3.1 Faktografska rekonstrukcija slijeda zbivanja	61
5.3.2 Stručni nalaz vještaka za utvrđivanje uzroka, uvjeta i okolnosti nastanka požara i eksplozije.....	63
5.3.2.1 Zapaljivost otapala „ <i>VM&P naphtha</i> “	63
5.3.2.2 Plovak uređaja za mjerenje razine napunjenosti spremnika.....	63
5.3.2.3 Kratko spajanje i uzemljivanje	64
5.3.2.4 Akumuliranje statičkog elektriciteta.....	65
5.3.2.5 <i>Sigurnosno-tehnički list</i> otapala „ <i>VM&P naphtha</i> “	65
5.3.3 Kritička raščlamba stručnog nalaza i mišljenja vještaka	66
6. ZAKLJUČAK.....	68
7. LITERATURA	69
8. PRILOZI	71
8.1 Popis simbola (korištenih akronima).....	71
8.2 Popis slika	73
8.3 Popis tablica	75

1. UVOD

Zbog neprestanog rasta ljudske populacije čiji razvoj primarno ovisi o energentima, a u novije vrijeme i raznim drugim (opasnim) tvarima, dolazi do sve veće potrebe za njihovom eksploatacijom. Najveću ulogu među njima imaju nafta i njeni derivati, a u novije vrijeme i ostale zapaljive kapljevine (alkoholi, razna otapala itd.) te brojne druge opasne tvari koje imaju široku primjenu u raznim djelatnostima i koje su nužne za odvijanje brojnih tehnoloških procesa. Naravno, nužna potreba za ovim tvarima sa sobom donosi i određene sigurnosne rizike. S obzirom da smo brzorastuće društvo koje je većinom koncentrirano u gradovima koji ovise o energiji, u njima se javlja i potreba za izgradnjom objekata kritične infrastrukture kao što su benzinske postaje, naftni terminali i razna kemijska postrojenja. Na takvim mjestima se obično nalaze velike količine uskladištenih zapaljivih kapljevina koje tvore specifične požarne i/ili eksplozijske opasnosti, od kojih su najvažnije njihove značajke isparljivosti i zapaljivosti. Svojstvo isparljivosti utječe na brzinu stvaranja zapaljivih smjesa para s okolnim zrakom (kisikom iz zraka kao oksidansom) iznad površine kapljevine. Takve smjese se mogu zapaliti i buknuti u određenim uvjetima, a kako se zapaljive kapljevine nalaze u zatvorenim posudama i spremnicima, u njima se (ukoliko spremnici i pripadajuća oprema nisu propisno nadzirani i održavani) mogu stvoriti i pogodni uvjeti za nastanak i razvitak eksplozije.

Smjese para sa zrakom zapaljivih kapljevina naročito su opasne iz razloga što je u nekim slučajevima za njihovo paljenje dovoljna jako mala energija ($E_p < 1 \text{ mJ}$), tako da rizik od požara/eksplozije mogu predstavljati skoro svi nam poznati izvori energije paljenja.

Razlog mojeg osobnog zanimanja i opredjeljenja za ovu temu proizlazi iz važnosti neprestanog ukazivanja na to koliko je ljudski faktor presudan za sprječavanje potencijalno opasnih odstupanja u radu industrijskih i inih proizvodnih pogona, jedinica ili njihovih dijelova/elemenata, važnih za sigurnost od požara, eksplozija, havarija i inih štetnih događaja.

1.1 Predmet i cilj rada

Predmet Završnoga rada je problematika izbijanja požara i eksplozija na spremnicima sa zapaljivim kapljevina i ukazivanje na konkretne propuste, odstupanja, pogriješke, kvarove i zakazivanja radi kojih dolazi do njihova pojavljivanja. Obradom ove teme se željelo upozoriti na mnogobrojne požarne, eksplozijske, okolišne i ine opasnosti nazočne pri rukovanju i držanju zapaljivih kapljevina te na važnost striktnog poštivanja propisa iz područja svekolike sigurnosti i zaštite i pravodobnog implementiranja propisanih, ali i neobvezatnih dopunskih, suvremenijih sigurnosnih i zaštitnih sustava sigurnosti i zaštite, na osnovi pouka izvučenih iz stručnih raščlambi obilježja propusta i pogriješaka koji su uzrokovali i pridonijeli nastanku mnogobrojnih slučajeva požara, eksplozija ili tehnoloških havarija pri proizvodnji ili preradi takvih tvari.

1.2 Izvori podataka i metode prikupljanja

Polazište za izradu nacrtu i koncepcije rada bila je literatura relevantnih kolegija dodiplomskog i diplomskog studija Zaštite od požara na Veleučilištu u Karlovcu. Tijekom pisanja rada rabljena je i od mentora preporučena inozemna stručna literatura s nekih internetskih stranica koja je bila od posebne važnosti za uspješnu obradu izabrane teme i koja može poslužiti za daljnje proširivanje i promicanje vlastitog znanja i prakse.

Pri izradi teorijskog dijela rada rabljena je metoda raščlambe sadržaja raspoloživih literaturnih izvora, uključujući aktualnih relevantnih propisa, poradi definiranja i obrazlaganja osnovnih pojmova iz područja teme ovog rada. Analiza radom predloženih slučajeva iz istražiteljske prakse provedena je metodom studije slučaja.

2. ZAPALJIVE KAPLJEVINE

2.1 Etimologija riječi „kapljevina“ i „tekućina“

Kako se u svakodnevnom govoru pri uporabi riječi „tekućina“ obično ne razmišlja o njenom pravom značenju te kako je izraz „kapljevina“ relativno slabo zastupljena riječ u hrvatskom jeziku, između tih dviju riječi, što se tiče fizikalnih svojstava tvari, postoji bitna razlika.

Naime, izraz **tekućina** je preuzet iz latinske riječi *fluidum* i koristi se kao zajednički izraz za sve kapljevite i plinovite tvari [2]. Ovdje je bitno napomenuti i kako se pod dovoljno visokim tlakom i ispod kritične temperature¹, plin može dovesti u takvo stanje da hlađenjem prijeđe u kapljevinu na niskome tlaku, a da se ne može reći u kojem je trenutku prešao iz plinovitog u kapljevito stanje. Zbog toga se ta dva stanja zajedno nazivaju *fluidnima* [15].

Pod izrazom **kapljevine** se dakle misli na **tekućine u užem smislu riječi**, tvari u agregatnom stanju koje se odlikuju lakom promjenom oblika uz istodobnu, gotovo potpunu, nestlačivost. Poprimaju oblik posude u kojoj se nalaze, ali ju ne ispunjavaju u cijelosti (kao plin), već oblikuju svoju slobodnu površinu okomito na smjer utjecaja vanjskih sila. Posljedica je to strukture u kojoj se molekule kapljevine nalaze na stalnim međusobnim razmacima, ali nemaju stalan položaj [17]. Pod određenim tlakom, odnosno pri određenoj temperaturi, svaka kapljevina prelazi u plin (paru) [18].

Cilj ovoga Završnoga rada je ukazati na najznačajnije uzroke požara i eksplozija koji se mogu pojaviti na spremnicima sa zapaljivim kapljevina, tako da su u praktičnom dijelu rada opisana samo ona tehnološka postrojenja u kojima se skladište i/ili koriste zapaljive tekućine koje su izvorno u kapljevito stanju (**nafta i naftni derivati, alkohol, otapala** i sl.), ali ne i plinovite tvari koje su stlačivanjem dovedene do tog stanja.

U kemiji se kapljevine označavaju s malim slovom **L** (engl. *liquid*).

2.2 Podjela zapaljivih kapljevina

Prema *Pravilniku o zapaljivim tekućinama* (Narodne novine, br. 54/99), **zapaljive tekućine** su tvari koje imaju penetraciju veću od 300 jedinica penetracije (1/10 mm) i čiji je tlak pare na 323,15 K (50 °C) manji od 300 kPa (3 bara), a dijele se prema temperaturi plamišta na **upaljive (lako zapaljive) tekućine** čija je temperatura plamišta jednaka ili manja 311,15 K (38 °C) i **gorive tekućine** čija je temperatura plamišta iznad 311,15 K (38 °C) i dodatno se razvrstavaju u skupine prema temperaturama plamišta i vrelišta kako slijedi:

- **I. skupina** zapaljivih tekućina dijeli se u podskupine:
 - **I.A** - tekućine čija je temperatura plamišta niža od 23 °C, a vrelište ispod 38 °C,
 - **I.B** - tekućine čija je temperatura plamišta niža od 23 °C, a vrelište iznad 38 °C i
 - **I.C** - tekućine čija je temperatura plamišta od 23 °C do 38 °C.

¹ Temperatura na kojoj se zbiva neki fazni prijelaz, npr. najviša temperatura na kojoj se neki plin još može pretvoriti u tekućinu.

- **II. skupina** zapaljivih tekućina su tekućine čija temperatura plamišta od 38 °C do 60 °C,
- **III. skupina** zapaljivih tekućina dijeli se u podskupine:
 - **III.A** - tekućine čija je temperatura plamišta od 60 °C do 93 °C i
 - **III.B** - tekućine čija je temperatura plamišta viša od 93 °C, ali ne više od 100 °C.

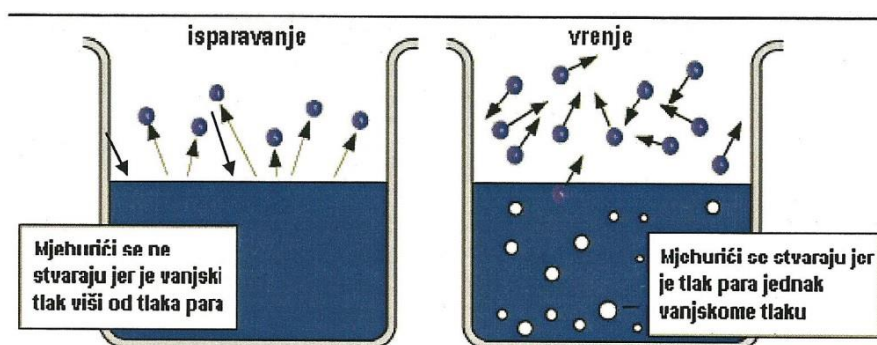
Zapaljive tekućine koje se u vodi otapaju ili kod kojih se gorivi tekući sastavni dijelovi otapaju u vodi kod 15°C dodatno se označavaju slovom „V“, npr.; **etanol - I.B „V“**.

2.3 Obilježja zapaljivih kapljevina

Najvažnija značajka zapaljivih kapljevina je **isparavanje**. Ono omogućuje stvaranje zapaljivih smjesa para s okolnim zrakom (kisikom iz zraka kao oksidansom) iznad površine kapljevine. Brzina isparavanja kapljevine ovisi ponajprije o njenom sastavu, a brzina je to veća što je:

- temperatura atmosfere iznad kapljevine viša, odnosno što je viša temperatura kapljevine,
- veća površina kapljevine koja isparava,
- jače strujanje zraka (atmofere iznad površine kapljevine),
- manja zasićenost atmosfere iznad kapljevine tom parom i drugim plinovima ili parama,
- manji tlak iznad površine kapljevine [14].

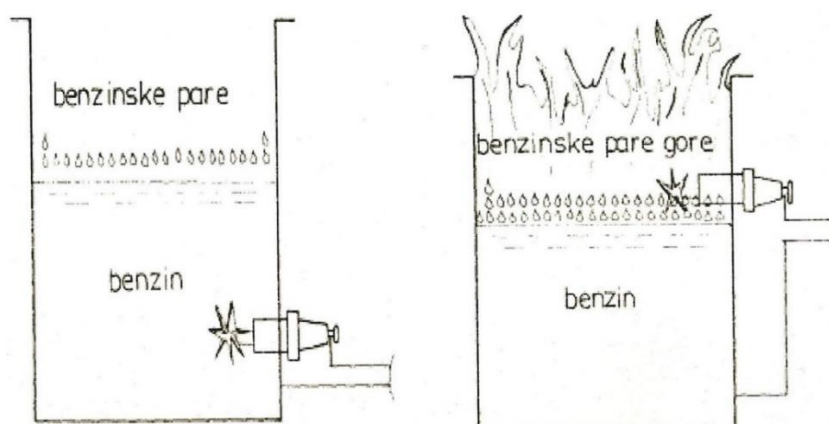
Ako se kapljevina nalazi u zatvorenoj posudi, jedan broj molekula iz parnog stanja će se zbog kretanja u svim pravcima približiti ili sudariti s površinom kapljevine i tako prijeći u kapljevito stanje. Istovremeno će određeni broj molekula iz kapljevito stanja prijeći u parno (vidi sliku 1, lijevo). Međutim, ako je temperatura konstantna doći će do uspostavljanja dinamičke ravnoteže, što znači da će u određenom vremenskom razdoblju određeni broj molekula prijeći iz parnog stanja u kapljevito (vidi sliku 1, desno) [14].



Slika 1: Isparavanje i vrenje kapljevina [14].

Tlak pare koji u takvim uvjetima nastaje u posudi iznad tekućine naziva se **tlakom zasićene pare**, a ovisi o temperaturi i sastavu tekućine. S povećanjem temperature tlak raste i nastavit će rasti sve dok se ne izjednači s atmosferskim tlakom na određenoj temperaturi, kada kapljevina isparava i iz unutrašnjosti, a ne samo s površine. Temperatura koju se pritom postigne nazivamo **temperaturom vrelišta** [14].

Gorenje zapaljivih kapljevina je proces koji se odvija kao gorenje plinova, jer kod kapljevina gore pare koje se nalaze iznad nje (vidi sliku 2). Paljenje neke zapaljive kapljevine je moguće tek onda kada se iznad nje pojave pare u dovoljnoj količini da s kisikom iz zraka ili s nekim inim plinovitim oksidansom tvore zapaljivu smjesu [14].



Slika 2: Ako u posudi koja sadrži benzin ugradimo automobilsku svjećicu ispod razine benzina i pustimo električnu struju između krajeva elektroda, stvoriti će se električna iskra, ali se benzin neće zapaliti (lijevo). Međutim, ako istu svjećicu ugradimo neposredno iznad razine benzina gdje se nalaze benzinske pare i zrak, smjesa će se odmah zapaliti čim se na kraju elektroda pojavi električna iskra [14].

2.4 Zapaljive i eksplozivne smjese

Pare zapaljivih kapljevina pomiješane sa zrakom stvaraju zapaljive smjese koje se mogu zapaliti i buknući ili eksplodirati u određenim uvjetima. Takvo izgaranje naziva se buknuće ili eksplozija, a njihova smjesa sa zrakom naziva se zapaljiva ili eksplozivna smjesa. Ovakva smjesa će buknući ili eksplodirati ako su istovremeno ispunjeni sljedeći uvjeti:

1. nazočnost zapaljive pare zapaljive kapljevine u određenoj koncentraciji,
2. nazočnost zraka s dovoljnom koncentracijom kisika,
3. nazočnost izvora topline dovoljne energije i temperature da zapali smjesu (otvoreni plamen, dovoljno jaka električna iskra ili električni luk, užareni predmeti i dr.) [14].

Postojanje zapaljive ili eksplozivne smjese u nekom prostoru neće uzrokovati buknuće ili eksploziju sve dok se ne postignu nužni uvjeti paljenja. Pare zapaljivih kapljevina (kao i zapaljivi plinovi te prašine čvrstih gorivih tvari) mogu buknući ili eksplodirati jedino kad se nalaze u tzv. „**području zapaljivosti/eksplozivnosti**“. To područje je ograničeno s minimalnim i maksimalnim volumnim udjelom zapaljive pare, plina ili prašine u smjesi sa zrakom koji se da upaliti i dalje samostalno izgarati (vidi sliku 3) [14].



Slika 3: Područje zapaljivosti, eksplozivnosti, deflagrabilnosti i detonabilnosti [11].

U području ispod **DGZ** (donje granice zapaljivosti) koncentracija zapaljive pare u zraku je vrlo mala. Ta smjesa je **presiromašna gorivom komponentom** (premale količine zapaljive tvari, a prevelike količine tvari koja podržava gorenje – kisika u zraku) da bi se uopće mogla zapaliti, a kamo li eksplodirati. Takva smjesa se može samo koronarno zapaliti (svijetliti) u tzv. „hladnom plamenu“ u izravnom ili neizravnom dodiru s izvorom energije paljenja, ali se takav plamen neće proširiti na ostatak smjese. U području iznad **GGZ** (gornje granice zapaljivosti) koncentracija zapaljive pare u zraku je pak prevelika, tj. smjesa je **prebogata gorivom komponentom** (prevelike količine zapaljive tvari, a premalo kisika u zraku), da bi se mogla zapaliti, a kamo li eksplodirati. Područja zapaljivosti, eksplozivnosti i detonabilnosti para zapaljivih kapljevina izražava se u volumnim postocima (vol. %) [14].

Tablica 1: Svojstva zapaljivosti nekih zapaljivih kapljevina² [1, 3, 4, 5, 19].

ZAPALJIVA KAPLJEVINA	SKUPINA	TEMPERATURA PLAMIŠTA ³ (°C)	TEMPERATURA VRELIŠTA ⁴ (°C)	TEMPERATURA SAMOPALJENJA ⁵ (°C)	GRANICE ZAPALJIVOSTI (DGZ ⁶ – GGZ ⁷), vol. %
„VM&P Naphtha“	I.B	14	-	-	0.9 - 6.7
benzin	I.B	-43	38 - 204	246 - 280	1.4 - 7.6
etanol	I.B „V“	17	78	365	3.3 - 19
kerozin	II.	38 - 72	151 - 301	295	0.7 - 5
metanol	I.B	11	65	470	6.7 - 36

Izvori energije paljenja mogu biti mnogobrojni. Ponajčešće su to otvoreni plamenovi, električni lukovi i iskrenja, vruće/pregrijane površine, mehaničke i kemijske iskre i dr. Spomenuti izvori energije paljenja su obično, ili lako mogu biti, dovoljno bogati količinom toplinske energije i obično su dovoljno visoke temperature za uspješno pripaljivanje zapaljivih smjesa gorivih plinova ili para zapaljivih kapljevina sa zrakom. Posebnu požarnu i/ili eksplozijsku opasnost čine povremeni izboji **statičkog elektriciteta** pri obavljanju pojedinih vrsta radnih ili tehnoloških operacija sa zapaljivim kapljevina poput utakanja/istakanja, pretakanja, crpljenja, cijevnog transporta, miješanja, prskanja, aerosolnog raspršivanja itd. Ovo izbijanje je moguće i vrlo opasno, čak i u slučaju dobro uzemljenih spremnika i cjevovoda, između površina gorive kapljevine na kojoj je došlo do nagomilavanja statičkog naboja i unutarnjih stjenki spremnika, posebice kod gorivih kapljevina čija je vodljivost manja od 50 pS/m, a najmanja energija paljenja ispod 1 mJ (vidi sliku 4) [8].

Izboji statičkog elektriciteta su naročito mogući pri protjecanju (strujanju) ili raspršivanju gorivih ukapljenih plinova ili gorivih kapljevina (posebice prilikom **punjenja** i **pražnjenja spremnika**) te prilikom **utakanja slobodnim padom** (uz pljuskanje) gorivih kapljevina ili ukapljenih plinova u posude s određene visine iz ispusnog ventila ili iz nedovoljno dugog crijeva (koje ne dopire do dna posude) (vidi sliku 5) [8].

² Vrijednosti u tablici vrijede pri normiranom atmosferskom tlaku od 1013 hPa i okolnoj temperaturi zraka od 20 °C.

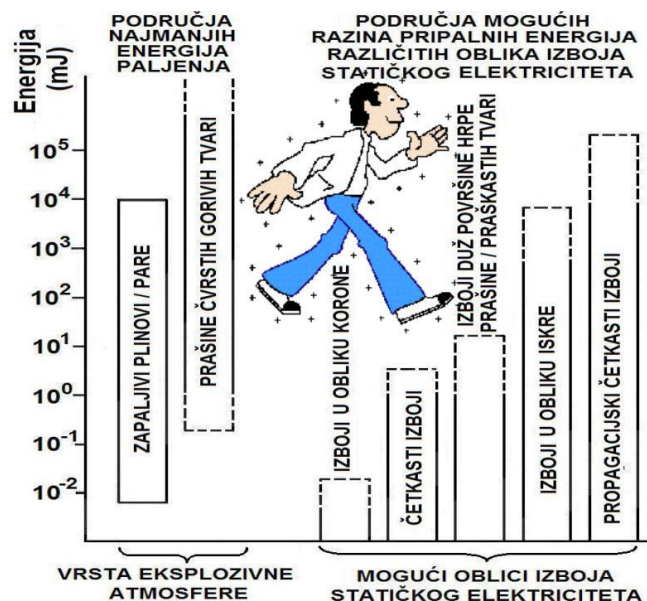
³ Najniža temperatura gorive kapljevine pri kojoj se iznad njene površine stvara dovoljno para da se sa zrakom načini takva smjesa koja se u dodiru s dovoljno jakim izvorom energije paljenja može pripaliti.

⁴ Temperatura prelaska kapljevine u plin (paru) ili obratno.

⁵ Najniža temperatura potrebna da započne ili uzrokuje samoodrživo izgaranje neke tvari u odsutnosti vanjskog izvora energije paljenja.

⁶ **Donja granica zapaljivosti** – najniža koncentracija gorivih plinova, para gorivih kapljevina ili prašina gorivih čvrstih tvari koja mora postojati u smjesi sa zrakom da može doći do zapaljenja i izgaranja takvih smjesa, ako ih se aktivira dovoljnom velikom energijom i dovoljno visokom temperaturom paljenja nekog izvora energije paljenja.

⁷ **Gornja granica zapaljivosti** – najveća koncentracija zapaljivih plinova ili para pomiješanih sa zrakom koja se još uvijek može zapaliti i izgarati, odnosno pri kojoj će se plamen nastaviti širiti kroz zapaljivu smjesu.



Slika 4: Prispodoba područja najmanjih energija paljenja gorivih plinova, para gorivih kapljevina i prašina čvrstih gorivih tvari (u zapalljivoj smjesi sa zrakom) s područjima mogućih razina pripalnih energija različitih oblika izboja elektrostatskog naboja [11].



Slika 5 (lijevo): Pripalno djelovanje izboja statičkog elektriciteta prilikom utakanja zapaljive kapljevine bez prethodnog uzemljivanja svih dijelova sustava [11].

Slika 6 (desno): Autogeno rezanje i zavarivanje pomoću acetilena ili vodika i O_2 , čije iskre vrlo lako/uspješno pale (pripaljuju) zapaljive/explozivne smjese svih gorivih plinova i para sa zrakom kojima je minimalna energija paljenja ispod 0,1 mJ te neke zapaljive smjese gorivih prašina sa zrakom [11].

Detaljan prikaz načina razvrstavanja svih poznatih „praktičnih“ izvora energije paljenja, što se tiče njihovih svojstava glede toplinske energije izvora (E_i) i temperature izvora (T_i), kao i uobičajenih ili mogućih mjesta njihovih pojavljivanja, naveden je u potpoglavlju 3.2.

2.5 Postrojenja sa zapaljivim kapljevina

U postrojenja sa zapaljivim kapljevina ubraja se sve tehnološke sustave koji se sastoje od spremnika ili posuda te instalacija i uređaja za proizvodnju, preradu, prijenos, pretakanje, uporabu i nadzor zapaljivih kapljevina, ugrađenih stabilnih sustava za detekciju, dojavu, vodeno hlađenje vanjskih površina stjenki i gašenje požara te drugih instalacija i uređaja takve ili slične namjene, što zajedno čine jednu tehnološku cjelinu.

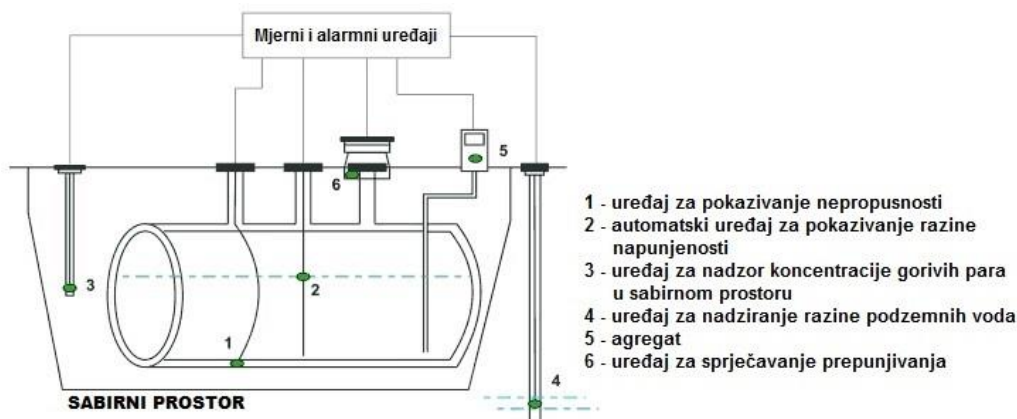
Spremnici mogu biti **stabilni**, **polustabilni** ili **prijenosni** zatvoreni sudovi koji se postavljaju na posebno uređenu podlogu i u kojima se nalaze zapaljive kapljive obujma preko 250 litara, koji s neposredno ugrađenom *opremom* u spremnik i na spremnik čine funkcionalnu cjelinu.

Stabilni spremnici su spremnici koji po svojoj konstrukcijskoj izvedbi ne mogu mijenjati lokaciju, a razvrstava ih se na:

1. **nadzemne spremnike** – nepokretni zatvoreni i nepropusni sudovi, stojećeg ili ležećeg valjkastog oblika, postavljeni odnosno izgrađeni na posebno uređenoj podlozi na površini tla, a glede konstrukcije mogu biti sa:
 1. čvrstim krovom,
 2. oslabljenim spojem između krovnog lima i plašta,
 3. plivajućim (plutajućim) krovom,
 4. sigurnosnim odušnim ventilom koji ne dopušta razvitak tlaka većeg od 0,1 bara i
 5. sigurnosnim odušnim ventilom koji do određene mjere dopušta razvitak tlaka većeg od 0,1 bara.

Nadzemni spremnik, koji pored plivajućeg krova, ima i čvrsti krov s odgovarajućom ventilacijom između čvrstog i plivajućeg krova, smatra se kao spremnik s plivajućim krovom (vidi poslije predočen primjer na slici 20).

2. **podzemne spremnike** – nepokretni zatvoreni i nepropusni sudovi, postavljeni odnosno izgrađeni na posebno uređenoj podlozi zaštićeni pokrovom od pijeska, zemlje, zida ili betona ili kombinacijom tih materijala, debljine najmanje 0,8 m za zapaljive tekućine I. i II. skupine, odnosno debljine 0,3 m za zapaljive tekućine III. skupine, ali ne više od 1 m ni u jednom slučaju (vidi sliku 7).



Slika 7: Skica presjeka podzemnog spremnika

[http://media.wfonline.com.au/article_images/LPF1S2-2-08.gif].

Ovisno o tipu i sadržaju, na spremnik se ugrađuje sljedeća oprema:

1. uređaj za odzračivanje,
2. uređaj za odušivanje ili odušna lula,
3. sigurnosni ventil,
4. armaturu otpornu na proboj plamena,
5. uređaj za pokazivanje razine tekućine, odnosno otvor s poklopcem za mjerenje razine,
6. uređaj za sprječavanje prepunjivanja,
7. uređaj za pokazivanje nepropusnosti,
8. priključke za punjenje i pražnjenje,
9. otvor za ulaz i pregled,
10. otvor s poklopcem za uzimanje uzoraka i
11. priključak s ventilom za ispuštanje taloga.

Spremnici i ugrađena oprema moraju biti **odobreni sukladno važećim propisima** te prema **programu kontrole i osiguranja kvalitete** u glavnom projektu [16].

Radi postizanja zadovoljavajućeg stupnja sigurnosti i zaštite od požara, eksplozija i/ili onečišćenja okoliša kada se radi o zajedničkom držanju/skladištenju zapaljivih kapljevina I., II. i III. skupine u spremnicima, naročitu pažnju treba pridodati:

- **određivanju zona opasnosti**, prostorima u kojima je prisutna zapaljiva/eksplozivna smjesa zapaljivih para sa zrakom ili se pak može očekivati da će biti prisutna u takvim količinama da to zahtijeva posebne mjere prilikom konstrukcije, ugradnje i uporabe električnih uređaja, a koji se prema propisima o protueksplozijskoj zaštiti dijele na zonu 0, zonu 1 i zonu 2 (vidi sliku 8). Zoniranjem se želi postići nužna razina osiguranja da su svi mogući izvori energije paljenja dovoljno udaljeni od mogućih mjesta pojave curenja, isparavanja ili istjecanja zapaljivih plinova ili kapljevina;

PODJELA PROSTORA UGROŽENIH EKSPLOZIVNOM ATMOSFEROM U ZONE NA TEMELJU UČESTALOSTI I TRAJANJA NJENE POJAVE:		
VRSTA EKSPLOZIVNE ATMOSFERE	ZONA OPASNOSTI	UČESTALOST I TRAJANJE POJAVE EKSPLOZIVNE ATMOSFERE
SMJESA GORIVE TVARI U OBLIKU PLINA, PARE ILI MAGLICE SA ZRAKOM	ZONA 0	STALNO ILI DUŽE VRIJEME ILI ČESTO PRISUTNA (> 1000 SATI ILI POJAVA GODIŠNJE)
	ZONA 1	POVREMENO ZA VRIJEME NORMALNOG RADA (IZMEĐU 10 I 1000 SATI ILI POJAVA GODIŠNJE)
	ZONA 2	NE OČEKUJE SE, A AKO SE I POJAVI TRAJE SAMO KRATKO (IZMEĐU 1 I 10 SATI ILI POJAVA GODIŠNJE)



Slika 8: Podjela prostora ugroženih eksplozivnom atmosferom u zone opasnosti [11].

- **određivanju zaštitnih pojasa**, površina određenih sigurnosnim udaljenostima mjereno u svim pravcima od ruba postrojenja ili spremnika do susjedne okoline čija se širina određuje prema ukupnom sadržaju zapaljivih kapljevina i u koju se **ne smiju uključiti javni prometni putovi i javni kolosijeci**. Ove udaljenosti se mogu i ograničiti odnosno smanjiti postavljanjem zidova odgovarajuće vatrootpornosti;
- **projektiranju i izgradnji** odgovarajućih **sabirnih prostora** (tzv. tankvana), ograničenih građevinskih prostora oko spremnika, posuda ili postrojenja koji jamče prihvat određene količine razlivenih zapaljivih kapljevina u slučaju slučajnog ispuštanja. Sabirne prostore mogu tvoriti udubljenja, nasipi ili stabilni zidovi ili stabilne stjenke prstenastog plašta, koji moraju ostati nepropusni i za vrijeme požara do kojega bi moglo doći u slučaju razlijevanja zapaljivih kapljevina;
- **uređajima, sustavima i drugim elementima** za mjerenje, upravljanje i nadziranje tehnološkog procesa, sprječavanje nastanka i širenje požara ili eksplozije ili drugih nesreća te za vatrodojavu i gašenje požara koji moraju biti pouzdani, tj. ugrađeni i održavani u ispravnom stanju sukladno propisima, normama i uputama proizvođača.

3. ZNAKOVITI UZROCI NEZGODA, NESREĆA, POŽARA I EKSPLOZIJA OD POSEBNOG ISTRAŽNOG I FORENZIČNOG INTERESA

U ovom poglavlju dat je prikaz pogodnog načina razvrstavanja *vrsta, tipova* i *oblika potencijalno opasnih propusta, odstupanja, pogrješaka, kvarova* i *zakazivanja* procesne, operacijske, tehnološke, tehničke, radne ili postupovne naravi (prema *mehanizmu nastanka*) kod industrijskih i inih proizvodnih, skladišnih i transportnih pogona i postrojenja takve naravi, a potom i *vrsta* te *skupina „praktičkih“ izvora energije paljenja* (tzv. *uzročnika paljenja*) kao uobičajenih ili najčešće *primarnih, sekundarnih* ili *zajedničkih uzroka* havarija, požara, eksplozija i/ili nezgoda/nesreća pri radu, koji su vrlo česti u istražiteljskoj i forenzičnoj praksi istraživanja uzroka takvih događaja [8].

3.1 Sustav razvrstavanja uzroka požara, eksplozija, havarija i nesreća pri radu tehničke i tehnološke naravi od posebnog interesa za stručnu istražiteljsku i forenzičnu praksu

U sljedećem pregledu samo su identificirana, imenovana, razvrstana i pobrojana neka od uočenih skupina i vrsta najvažnijih potencijalno opasnih odstupanja u radu industrijskih i inih proizvodnih pogona, jedinica ili njihovih dijelova/elemenata važnih za sigurnost od požara, eksplozija, havarija i inih štetnih događaja i za forenzično istraživanje/vještačenje načina, uzroka i okolnosti nastanka te posljedica takvih događaja. Mnoga od spomenutih odstupanja pretežito su usko povezana s *glavnim radnim parametrima* ili predstavljaju neki od njihovih oblika, podvrsta ili sinonima. Prilikom njihove stručne istražiteljske i forenzične raščlambe, u konkretno istraživanim slučajevima, treba nastojati obuhvatiti kako *statičke*, tako i *dinamičke utjecaje, učinke* i *posljedice* svih relevantnih parametara [8].

Vrste požarno i eksplozijski potencijalno opasna odstupanja u radu industrijskih i inih proizvodnih pogona, jedinica ili njihovih dijelova/elemenata, važnih za sigurnost od požara, eksplozija, havarija i inih štetnih događaja, može se razvrstati u sljedeće skupine [8]:

A) MOGUĆA ODSUPANJA OD GRANIČNIH VRIJEDNOSTI VELIČINA GLAVNIH RADNIH PARAMETARA

- kemijskog sastava;
- kemijske nestabilnosti/reaktivnosti;
- količine, protoka i brzine;
- temperature;
- tlaka;
- položaja (razine, visine, smjera);
- mehaničkih naprežanja.

B) MOGUĆA Odstupanja od graničnih vrijednosti veličina ostalih radnih parametara/uvjeta

- korozije (nagrizajućeg djelovanja);
- erozije (abrazije);
- otpora protoku fluida;
- stvaranja naslaga;
- kavitacije;
- vibracije;
- „čekića“ (vodenog/kapljevinskog udara);
- opterećenja (statičkog, dinamičkog);
- ekspanzije (širenja);
- kontrakcije (skupljanja);
- termičkog i/ili mehaničkog udara;
- ciklusa aktivnosti;
- čimbenika okoliša, okolice i okoline.

C) MOGUĆA Odstupanja fizikalnih značajki tvari

- viskoznosti;
- topivosti;
- stupnja miješanja kapljevina;
- temperature tališta (T_t)/ledišta/stiništa (T_{st}) i/ili vrelišta (T_v)/rosišta;
- toplinskog kapaciteta i toplinske vodljivosti tvari;
- gustoće kapljevina/čvrstih tvari (ρ);
- gustoće plinova/para;
- pojavljivanja novih faza (agregatnih stanja), promjena u strukturi – kristalnoj rešetki u čvrstih tvari;
- veličine čestica;
- svojstva pjenjenja i emuliranja;
- svojstva grudanja;
- koeficijenta širenja/skupljanja;
- površinske napetosti;
- joule-thompsonovog učinka;
- električne vodljivosti/otpornosti fluida ili fluidizirane prašine/maglice
- itd.

D) MOGUĆA Odstupanja (Povećanja Broja ili Opsega/ Pogoršavanje) Opasnih Svojstava⁸ Tvari Zbog Mogućeg Odstupanja Kemijskog Sastava i Strukture Tvari ili Radnih Uvjeta i Okolnosti u Odnosu na Standardne⁹

- temperature samopaljenja (T_{sp}), iniciranog (prisilnog) paljenja (T_{pp}), plamišta (T_{plsta}), izgaranja (T_g), tinjanja, samozagrijavanja, samozapaljenja (T_{szp}), plamena (T_{pl});
- koncentracijske (DGZ , GGZ), temperaturne (T_{dgz} , T_{ggz}) i tlakovne (P_{dgz} , P_{ggz}) granice područja zapaljivosti (PZ), eksplozivnosti (PE), deflagabilnosti ($Pdef$) i/ili detonabilnosti ($Pdet$);
- vrijednosti veličine indeksa graničnog kisika (IGK , LOI) za nastanak zapaljenja i eksplozije;
- vrijednosti veličine „pika“ zapaljivosti/gorivosti gorivih plinova ili para u smjesi sa zrakom/kisikom (i/ili s inim oksidansom) i s inertnim ili s anti-katalitičkim plinom ili parom;
- brzine (v) i topline izgaranja (ΔH_c) i eksplozije (ΔH_e);
- površinske i/ili obujamske brzine širenja plamena i/ili žarenja/tinjanja;
- vrijednosti veličine maksimalnog tlaka (P_{max}) i maksimalne brzine rasta tlaka eksplozije (dP_e/dt_e);
- vrijednosti veličine minimalne energije prisilnog paljenja (Ep_{min}), odnosno maksimalnog eksperimentalnog sigurnosnog raspora ($MESR$), minimalne struje paljenja (MSP) ili minimalne napetosti paljenja (MNP);
- vrijednosti veličine parametara dimljivosti (koeficijenta stvaranja dima/zadimljavanja pri izgaranju, razlaganja i sl.);
- vrste, količine, načine i oblike oslobađanja/razvijanja za zdravlje škodljivih tvari;
- vrijednosti veličine otrovnosti, zagušljivosti, nagrizajućeg i/ili inog za zdravlje škodljivog djelovanja;
- nestabilnosti (reaktivnosti, osjetljivosti na ultrazvuk, svjetlost ili ino EMZ¹⁰ te na toplinu, plamen, trenje, smicanje, tlak i/ili na udar);
- inertizirajuće, antikatalizirajuće ili inhibirajuće (flegmatizirajuće i retardirajuće), ili katalizirajuće koncentracije slučajno nazočnih ili dodanih inertnih, antikatalitičkih, retardirajućih¹¹ ili katalitičkih tvari;
- vrijednosti veličine obujma i oblika (geometrije) zatvorenog prostora;
- vrste, oblike/geometrije, površine i ine relevantne značajke kontaktnih površina;
- podskupine, skupine, razrede ili kategorije gorivosti, zapaljivosti ili eksplozivnosti tvari;
- itd.

⁸ Specificiranih ovisno o tome radi li se o čvrstoj tvari, kapljevinu ili plinu, odnosno o stanovitosti, za zdravlje škodljivoj, gorivoj ili eksplozivnoj, tvari.

⁹ Utvrđenih u standardnim mjernim aparatima/uređajima pod općim standardnim ili predviđenim, planiranim ili posebnim procesnim/operacijskim mjernim uvjetima i okolnostima.

¹⁰ Elektromagnetsko i ionizirajuće zračenje.

¹¹ Tvari za retardiranje (usporavanje ili prekidanje) širenja plamena ili tinjanja (žarenja) čvrstih gorivih tvari.

E) MOGUĆA Odstupanja u sklopu kemijskih reakcija

- vrste, brzine i stupnja/razmjera kemijskih reakcija;
- sporednih kemijskih reakcija;
- svojstva katalizatora (aktivnosti, intoksikacije, zagađenja, reakcija, regeneracije, razlaganja);
- planiranih i/ili neplaniranih/neželjenih kemijskih reakcija;
- vrsta i količina kontaminanata (onečišćenja), uključujući i onih koja potječu iz konstrukcijskih i inih materijala (maziva, hidrauličkih kapljevina, medija za prijenos topline, pogonskih goriva, otapala i razrjeđivača, sredstava za čišćenje ili dezinficiranje itd.) i/ili onih dospjelih iz okoline;
- produkata korozije;
- nazočnosti/pojava nepoželjnih katalitičkih, antikatalitičkih ili inertnih tvari;
- nekontroliran rad reaktora (nekontroliran tijek i brzina – toplinski „bijeg“ kemijske reakcije);
- pojava inicijalnog razlaganja, paljenja, tinjanja, plamćenja i/ili žarenja požara;
- pojave inicijalne eksplozije (fizikalne ili kemijske) ili implozije.

F) MOGUĆA Odstupanja vremena, intervala ili razdoblja pokretanja, odvijanja ili zaustavljanja tehnološke operacije ili procesa

- vremena početka/završetka/trajanja kontakta
- vremena u redoslijedu radnji/reakcija;
- vremena planiranog ciklusa.

G) MOGUĆA Odstupanja uzrokovana lokalnim učincima

- neadekvatnom raspodjelom mase i energije;
- neadekvatnim miješanjem tvari;
- pojavom pregrijanih mjesta („vrućih točaka“);
- pregrijavanjem mase tvari i dijelova postrojenja/tehnološke jedinice;
- učinkom rezonancije;
- naprezanjima na nosačima, držačima, ležištima, osovinama, vratilima i sl.;
- nedostacima u podmazivanju;
- nastankom vrtloženja;
- pojavom začepljenja, prigušenja ili mehaničkih blokada u protoku fluida;
- učinkom lupanja;
- pojavom taloženja (sedimenta);
- učinkom tromosti mase/elemenata sustava;
- učinkom adhezije;
- učinkom drobljenja/usitnjavanja;
- učinkom struganja (izlizanošću);
- učinkom odvajanja (separacije);
- učinkom ljuljanja (njihanja, valjanja, pulsiranja) kapljevina;
- učinkom gomilanja naboja statičkog elektriciteta;
- itd.

H) MOGUĆA Odstupanja glede izolacije, hermetizacije ili zadržavanja opasnih tvari u tehnološkom procesu/operaciji¹² (zbog pogrešne, nepotpune ili zbog prerano, prekasno ili nepravodobno uklonjene izolacije, hermetizacije ili blokade)

- prolijevanja (prelijevanja, izlijevanja) ili rasipanja tvari;
- propuštanja (curenja, izbijanja, istjecanja) ili isipanja tvari;
- isplinjavanja, isparavanja, odušivanja, izbacivanja i raspršivanja tvari.

I) MOGUĆA Odstupanja u svezi planiranja, projektiranja, izvedbe, konstrukcijskih materijala, ispitivanja, kontrole, nadzora i održavanja objekata, pogona, tehnoloških postrojenja, tehnoloških jedinica i njihovih dijelova ili elemenata

- pogreške u izvedbi/montaži pojedinih dijelova koje uzrokuju nepravilni rad (npr. montaža na pogrešnom mjestu ili u krivom smjeru);
- pogrešan (neodgovarajući) ili defektan materijal konstrukcije;
- nedovršenost (nekompletnost) objekta, pogona, postrojenja, tehnološke jedinice ili pojedinog njihovog dijela¹³ u stadiju izgradnje, remonta ili rekonstrukcije;
- izostanak/nedostatak/manjkanje odgovarajuće tehnološke/operacijske/radne/materijalne potpore (kvalitativni/kvantitativni nedostaci opskrbe energentima/energijom, odgovarajućim sirovinama, intermedijerima – tj. međuproduktima, rashladnim sredstvima, vodom, inertnim plinovima, komprimiranim zrakom, tehnološkom parom, hidrauličkim kapljevina, mazivima i/ili inim nužnim osnovnim i pomoćnim servisnim tvarima/materijalima; kvalitativni/kvantitativni nedostaci pravodobne opskrbe pričuvnim dijelovima i komponentama, nedostatak kadrova određene stručnosti, specijalnosti, osposobljenosti, vještine, motiviranosti itd.);
- izostanak jasnih (potpunih i nedvosmislenih) uputa i naputaka koje radove i na koji način (s aspekta kakvoće te tehnološke i radne sigurnosti) treba obaviti;
- neadekvatan/nepropisan raspored (razmještaj) objekata, pogona, postrojenja, tehnoloških jedinica ili njihovih elemenata, priručne/pomoćne opreme i sredstava, priručnih sirovina, dodatka, servisnih medija i sl. (međusobno i u odnosu na okoliš, okolicu i okolinu);
- neadekvatna stabilnost, otpornost i zaštita objekata, pogona, postrojenja, tehnoloških jedinica i sigurnosnih/zaštitnih sustava na požar, eksploziju, potres, vibracije, poplave, obilnije oborine, udare vjetera, udar groma, sunčevo zračenje, statički elektricitet, relativnu vlažnost, visoke/niske temperature atmosfere okoliša, koroziju i ine štetne utjecaje;

¹² Među inim, može biti posljedica ugradnje neispitanih/izvanstandardnih ventila itd.; zamjene metalnih cijevi različitim gumenim ili plastičnim crijevima itd. Prema stanovitim britanskim iskustvima više od 50% od ukupne emisije plinova/para u rafinerijama potječe od oćnica/brtvi ventila.

¹³ Uključujući propuste u spajanju pojedinih dijelova, učvršćivanju, brtvljenju, zategnutosti, čišćenju po završetku radova, ravnini/nagibu (nivelaciji) itd.

- neadekvatna nivelacija pogona, objekata, postrojenja, tehnoloških jedinica i pojedinih njihovih dijelova ili elemenata (npr. sifona, drenažnih ispusta i sl.);
- nepravilno/dvosmisleno (višeznačno)/nejasno ili pogrešno označavanje ili neoznačavanje tehnoloških postrojenja/jedinica ili njihovih dijelova/elementa ili radova (popravaka, rekonstrukcije, održavanja, ispitivanja, puštanja u pogon ili zaustavljanja/zatvaranja i sl.) koji su u tijeku;
- izostalo/nepotpuno/nepravilno ispitivanje (testiranje) ili nestručno/neovlašteno isključivanje, kalibriranje, podešavanje ili mijenjanje vrste, tipa ili lokacije mjernih, regulacijskih, graničnih, pokazivačkih, alarmnih, otpusnih/zapornih (tzv. „*trip*“) uređaja, naprava i sustava¹⁴ ili (vrijednosti, mjerne jedinice/jedinice mjere, vrste) parametara;
- izostanak potrebnih ispitivanja na dijelovima posuđenih/iznajmljenih tehnoloških postrojenja/jedinica ili njihovih dijelova (zbog uvjerenja/pretpostavke kako je to vlasnik već uradio ili trebao obaviti);
- testiranje/ispitivanje (stavljanje privremeno izvan funkcije) elemenata, dijelova ili cijelih sigurnosnih i/ili zaštitnih sustava dok traje požarna/eksplozijska opasnost, ili dok se provode požarno/eksplozijski opasne radnje, ili u trenutku pojave/razvitka požarne/eksplozijske opasnosti u pogonu ili na postrojenju;
- uvođenje improviziranih ili privremenih rizičnih (nepropisanih/nedopuštenih/zabranjenih) tehničkih rješenja tijekom izgradnje/održavanja/rada/popravka postrojenja, tehnoloških jedinica ili njihovih dijelova/elementa;¹⁵
- neadekvatno održavanje čistoće i neuklanjanje štetnih i potencijalno opasnih tvari i materijala;
- itd.

J) MOGUĆA TEMELJNA Odstupanja i Propusti

- u proceduri puštanja u rad ili zaustavljanja tehnološke jedinice/postrojenja, odnosno tehnološke operacije/procesa;
- u tehničkoj izvedbi, održavanju, kontroli, ispitivanju te tehnološkom i upravnom nadzoru;
- u nedovoljno osmišljenim i potom analiziranim, planiranim i ispitanim promjenama/izmjenama („*poboljšanjima*“) stanovitim postojećih (uobičajenih) tehničkih/tehnoloških rješenja tehnoloških postrojenja, operacija/procesa ili pojedinih njihovih dijelova/elementa;
- grješke/propusti u opskrbi/napajanju sirovinama, intermedijerima, katalizatorima, inhibitorima, dodacima, energentima, rashladnim medijima, termičkim uljima, tehnološkom parom, komprimiranim zrakom, hidrauličnim i mazivim tvarima, inertnim plinovima;

¹⁴ Dok je odušne (sigurnosne) ventile dovoljno ispitati barem jedanput godišnje, dotle instrumentalizirane alarmne i otpusne/zaporne sprave, uređaje i sustave, zbog njihove znatno manje pouzdanosti, treba provjeravati jednom tjedno ili barem jednom mjesečno.

¹⁵ Posebno nazočna i sve aktualnija opasnost u nas, zbog njihove zastarjelosti (amortiziranosti), nedostatka standardnih dijelova/materijala i nedostatka financijskih sredstava za njihovu zamjenu, obnovu i održavanje, odnosno za rashodovanje postojećeg hardvera i instaliranje produktivnijih i sigurnijih tehnoloških/tehničkih rješenja.

- grješke, kvarovi i oštećenja na postrojenju i opremi;
- promjene zahtjeva i zahvati bez prethodne (temeljite) raščlambe njihovih utjecaja i prosudbe ugroženosti/rizika s aspekta tehnološke i ine sigurnosti i zaštite;
- pojave nepredviđenih/neplaniranih, dovoljno jakih, izvora energije paljenja dovoljno visoke temperature, oksidacijskih i/ili gorivih, eksplozivnih ili nestabilnih tvari;
- onemogućavanje/otežavanje održavanja, kontrole, ispitivanja i nadzora;
- izostanak/otežavanje i grješke/necjelovitost komuniciranja, dogovaranja, obavješćivanja i sporazumijevanja između svih nadležnih/nužnih osoba i radnih timova/skupina;
- pogrešno/izostalo/nepotpuno deklariranje, obilježavanje ili označavanje o opasnim svojstvima tvari u transportu/skladištenju/proizvodnji;
- nepostojanje/nerazumljivost/grješke u tisku, ispisu, očitavanju ili u čitanju: naputaka za rad; pokazivača; pisača; mjernih jedinica/područja; oznaka instrumenata; oznaka upravljačkih, mjernih i regulacijskih komandi, formula, maziva i sastava kemikalija itd.;
- izostanak definiranja zadaća, poslova, postupaka, obveza i/ili odgovornosti održavatelja/ispitivača/rukovatelja/kontrolora/nadzornika za pojedine dijelove postrojenja/tehnološkog procesa;
- grješke u programima/softverima (češće i teže ustanovljive, posebno u većim/složenijim programskim paketima/računalnim i mikroprocesorskim uređajima za automatsko vođenje, upravljanje i kontrolu tehnoloških procesa/operacija) - zbog njihove neispitanosti/neprilagođenosti za sve uvjete i okolnosti rada, odnosno za sve realno moguće situacije;¹⁶
- neinformiranost/nepoznavanje svih vrsta i oblika opasnosti koje proizlaze iz pojedinih svojstava tvari/materijala s kojima se rukuje/radi ili iz nepravilnog funkcioniranja/korištenja (dijelova) postrojenja;
- pogrešno shvaćanje/uvjerenje kako vozila i strojevi s dizel motorom, za razliku od onih s benzinskih motorom („zbog iskrenja njihovih svjećica“), ne mogu uzrokovati zapaljenje (i eksploziju) zapaljivih smjesa u svojem okolišu¹⁷ i puštanje/instaliranje takvih (bez posebnih protueksplozijskih izvedbi) u zone mogućih/nazočnih akcidentalnih, nehajnih ili zlonamjernih ispuštanja/razvijanja gorivih plinova, para ili aerosola;
- itd.

¹⁶ **Pogreške u softveru** prave su „**tempirane bombe**“ koje leže skrivene i čekaju pojavljivanje određene kombinacije neuobičajenih/izvanrednih okolnosti ili uvjeta koji će ih aktivirati (nažalost, idealno su sredstvo i za industrijske sabotaze, saboteroidalne (po „modus operandi“ sabotazama slične) akte te za terorističke ucjene i diverzije (vidi šire Kulišić, *Policija i sigurnost*, br. 4/95 i 6/97 te Kulišić, *Sigurnost*, 4/08). Učinci i posljedice ovih pogrešaka mogu se donekle reducirati instaliranjem uređaja za pravodobno otkrivanje, alarmiranje i otklanjanje pogrešaka računala (uz pomoć posebnih dodatnih uređaja, tzv. „watchdogs“ – „stražarskih pasa“).

¹⁷ Mogućnosti uzrokovanja zapaljenja su mnogobrojne: preko dovoda zraka, goriva, ispušnih plinova, pregrijanih dijelova površina motora; prilikom radnje zaustavljanja rada motora preko kontrolnika dekompresije; putem uobičajene pomoćne električne opreme/instalacija itd.

- MOGUĆE LJUDSKE POGRJEŠKE, PROPUSTI ILI SABOTAŽE/SABOTEROIDALNI AKTI (U OBAVLJANJU/IZVRŠAVANJU RUTINSKIH I IZVANREDNIH RADNJI, POSLOVA ILI ZADAĆA, U REDOVITIM I IZVANREDNIM OKOLNOSTIMA ILI SITUACIJAMA):
 - propuštanje obavljanja dijela propisanih ili naloženih radnji, poslova ili zadaća;
 - nepravilno/pogrješno obavljanje dijela radnji, poslova ili zadaća;
 - unošenje/uvodenje stanovitih tvari, materijala, komponenata, sklopova ili pojedinih njihovih dijelova/elemenata, stanovitih radnih operacija ili pojedinih faza/koraka u procesu ili radnim operacijama koje/koji se nisu smjeli unijeti/obaviti;
 - uklanjanje stanovitih tvari, materijala, komponenata, sklopova ili pojedinih njihovih dijelova/elemenata, odnosno onemogućavanje stanovitih radnih operacija ili pojedinih faza/koraka u procesu ili radnim operacijama, koje/koji se nisu smjele/smjeli ukloniti/onemogućiti;
 - obavljanje stanovitih radnji, poslova ili zadaća neodgovarajućim (pogrješnim) redoslijedom;
 - propuštanje, kašnjenje, prerano ili nepravodobno obavljanje stanovitih radnji, poslova ili zadaća ili pojedinih njihovih stadija/koraka u odnosu na zadani trenutak ili dio vremenskog intervala ili razdoblja za njihovo obavljanje;
 - zanemarivanje ili pogrješna raščlamba i prosudba (podcjenjivanje) stanovitih nepovoljnih/štetnih geoloških, klimatskih ili mikroklimatskih utjecaja.

3.2 Istražno i forenzično posebno važno i korisno razvrstavanje „praktičkih“ izvora energije paljenja

Pored vrste *gorive* i *oksidacijske*, odnosno *eksplozivne tvari*, te eventualno požarno ili eksplozijski opasno poticajno djelujuće *katalitičke tvari* (odnosno eventualno preventivno nedjelujuće predviđene *antikatalitičke tvari*), u stanovitom slučaju požara ili eksplozije, od posebne istražiteljske i forenzične važnosti je i istraživanje te utvrđivanje „*praktičkog*“ izvora energije paljenja koji je bio *uzročnikom iniciranja požara* ili *eksplozije*, tj. *neizostavnom sastavnicom uzroka* požara/eksplozije *energijske naravi* [8].

Zbog toga se u daljem tekstu daje pregled svih onih *praktičkih izvora energije paljenja* s kojima se, često, nešto rjeđe ili u vrlo rijetkim slučajevima, objektivno mogu susresti kriminalisti i forenzičari pri istraživanjima slučajeva požara i eksplozija. On se preporuča kao koristan podsjetnik („*šalabahter*“) kako se ne bi predvidjelo i, pri primjeni „*metode eliminacije*“ (kao najčešće rabljene istražiteljsko – tehničke metode u sužavanju kruga možebitnih uzroka požara/eksplozije, pri očevidu i vještačenju uzroka požara), zanemarilo bilo koji od objektivno mogućih izvora energije paljenja [8].

„Praktičke“ izvore energije paljenja se može razvrstati na sljedeće načine [8]:

A) PREMA PODRIJETLU NASTANKA IZVORA ENERGIJE PALJENJA (E_p)

- I. Izvori E_p nastali (uzrokovani) *aktivnošću ljudi, životinja, biljaka i mikroorganizama*
- II. Izvori E_p nastali (uzrokovani) pojavom i djelovanjem *prirodnih pojava* (atmosferskih izbijanja, potresa, sunčevog zračenja, vulkanskih aktivnosti, pada meteorita, orkanskog vjetrova, vodene bujice / poplave).

B) PREMA VRSTAMA IZVORA E_p

I. OTVORENI PLAMENOV I VRUĆI (PREGRIJANI) PLINOV I PROCESA BURNOG ILI EKSPLOZIVNOG IZGARANJA TE DEFLAGRACIJSKOG ILI EKSPLOZIVNOG RAZLAGANJA¹⁸

- iz procesa izgaranja plamćenjem i kombinirano (plamćenjem i žarenjem);
- iz procesa lokalnih deflagracija/eksplozija;
- a) *svojstva*: izvori energije (ako dovoljno dugo djeluju) uvijek bogati dovoljnom količinom toplinske energije izvora (E_i) i dovoljno visoke temperature izvora ($T_i = 800 - 1300$ °C) za uspješno zapaljenje svih „*standardno gorivih tvari*“, a posebice lako i brzo onih iz skupine „*standardno lakozapaljivih tvari*“;
($E_i \gg E_p$; $T_i \gg T_p$).

b) *nastaju*:

- u svim otvorenim (nezaštićenim) ložištima, ognjištima, pećima;
- na različitim bakljama, plamenicima i žiškama;
- paljenjem žigica ili cigaretnih upaljača;
- u plinskim i petrolejskim svjetiljkama;
- na svijećama i improviziranim rasvjetnim bakljama;
- prilikom zapaljenja i plamtećeg izgaranja pirotehničkih i inih požarno opasnih (požarno poticajnih/inicijalnih i/ili ubrzivačkih/akcelerantskih) tvari, smjesa, materijala/tvoriva i naprava;
- prilikom lokalnih eksplozija zapaljivih plinova, para aerosola, deflagrantnih i slabije/niskobrizantnih (razornih) eksploziva te inih eksplozivnih tvari/kemikalija;
- prilikom ispuštanja (propuštanja) plamena ili pregrijanih plinova procesa izgaranja i eksplozija iz naizgled „*zatvorenih*“ prostora/kućišta (motora s unutarnjim izgaranjem; prividno „*neprobajnih*“, tj. neadekvatno ili narušeno protueksplozijski zaštićenih i inih „*običnih*“ kućišta električnih prekidača, sklopki, električnih motora i uređaja itd. bez posebne protueksplozijske tzv. „*S*“ ili „*Ex*“–zaštite/izvedbe).

¹⁸ Najčešći su izvor energije paljenja, kako kod *slučajno nastalih* (akcidentalnih) tako i kod *podmetnutih požara i eksplozija*.

II. ELEKTRIČNI LUKOVI I ISKRENJA¹⁹

- a) **svojstva:** izvori energije paljenja najčešće relativno dovoljno visoke T_i , ali ne uvijek i dovoljne E_i ²⁰, za uspješno zapaljenje većine gorivih tvari; najlakše pale zapaljive/eksplozivne smjese gorivih plinova, para i/ili aerosola s kisikom ili zrakom;

$$(T_i > T_p; E_i > \text{ili} < E_p).$$

- b) **nastaju:**

1. Očekivane iskre i lukovi pri normalnom radu:

- na električnim motorima, generatorima i inim električnim rotirajućim strojevima;
- lukovi između električnih kontakata (prekidača i releja) u otvorenom položaju radi prekidanja toka struje;
- zbog samoindukcije prilikom uključivanja i isključivanja električnih krugova;
- između četkica i kolektora kod motora na istosmjernu struju;
- funkcioniranjem prekidača i sklopki;
- prilikom elektrolučnog zavarivanja itd.

2. Neočekivane iskre i lukovi pri normalnom radu:

- atmosferskim izbijanjem (ne samo udarom groma ili munje);²¹
- zbog oštećenja električnih aparata;
- izbijanjem nabijenih kondenzatora kroz plin;
- prilikom nastanka zemljospoja;
- prilikom nastanka kratkog spoja (zbog oštećenja ili slabljenja izolacije itd.);
- zbog slabih kontakata između vodiča ili spojeva (primjerice: zbog slabo stegnutih/labavih vodiča u stezaljkama; slabo uvijene žarulje u grlo; labavih kontakata utikača u utičnici itd.);
- prilikom pucanja ili sječenja vodiča kojima teče el. struja;
- **izbijanjem statičkog naboja (elektriciteta)** akumuliranog na neuzemljenim ili slabo uzemljenim površinama (izolacijskim/slabo vodljivim tvarima ili materijalima površinske otpornosti preko $10^9 \Omega$) nastalog najčešće zbog trenja, smicanja, drobljenja ili gnječenja tvari/materijala; zbog razdvajanja dviju tvari ili dvaju materijala; zbog gibanja ili vrtnje tvari ili materijala izoliranih od zemlje²² i slično tomu, primjerice prilikom:

¹⁹ Česti su izvori energije paljenja kod **slučajno nastalih** (akcidentalnih), pa i **podmetnutih** požara i eksplozija.

²⁰ Stoga je, u takvim dvojbjenim slučajevima, nužno forenzično vještačiti je li E_i mogla biti dovoljna za uzrokovanje zapaljenja, djelovanju električnog iskrenja/luka izložene, gorive tvari/zapaljivog ili eksplozivnog sustava tvari (vidi šire: *Marinović, N., 1989.* i *Kulišić, D., 1987.-1995.*).

²¹ Poznate su još i pojave „**tihog ili tinjavog izbijanja**“, uz pojavu vidljive blijedo zelenkastoplave svjetlosti, nazvane još i „**vatrom Sv. Ilije**“ (na Zapadu Sv. *Elma*), poglavito u planinama ili na povišenim mjestima, i tzv. „**kuglaste munje**“ ili tzv. „**supermunje**“, koja je još uvijek predmetom posebnog znanstvenog (povremeno i medijski popraćenog) zanimanja, proučavanja i sporenja.

²² Ovo izbijanje je moguće i vrlo opasno, čak i u slučaju dobro uzemljenih posuda/spremnika i cjevovoda/crijeva, između površina gorive kapljevine na kojoj je došlo do nagomilavanja statičkog naboja i unutarnjih stjenki posuda ili cijevi/crijeva za utakanje, posebice kod gorivih kapljevina čija je vodljivost manja od 50 pS/m a najmanja energija paljenja ispod 1 mJ.

- * ispuštanja stlačenih plinova i para (primjerice: zemnog plina, propan-butana, dušika, CO₂, zraka, pregrijane vodene pare);
- * protjecanja (strujanja) ili raspršivanja gorivih ukapljenih plinova ili gorivih kapljevine²³ (posebice prilikom punjenja i pražnjenja posuda i spremnika);
- * utakanja slobodnim padom (uz pljuskanje) gorivih kapljevine ili ukapljenih plinova u posude s određene visine iz ispusnog ventila ili iz nedovoljno dugog crijeva (koje ne dopire do dna posude);
- * finog raspršivanja mlaza vode pod visokim tlakom;
- * protjecanja (strujanja) heterogenih fluida (posebice prilikom prijenosa/transporta nevodljivih aerosola, primjerice prašina celuloznog ili polimernog podrijetla, ili maglica ugljikovodika);
- * mljevenja, prosijavanja ili usitnjavanja nevodljivih krutina;
- * gnječenja, miješanja ili tiještenja (prešanja) nevodljivih/slabovodljivih tvari;
- * remenskog prijenosa vrtnje (posebice kod trakastog i klinastog remenja, zbog proklizavanja, slabljenja ili pucanja remenskog prijenosa vrtnje);
- * trenja gume, gumenih kotača, gumene i polimerne (poliuretanske) obuće, sintetske odjeće, rukavica, ruku²⁴ i sl. o suhu ili sintetsku podlogu (obloge podova, zidova, namještaja, strojeva itd.);
- * čak i skidanja/oblačenja odjeće od prirodnih vlakana (pamuka, vune);
- * poliranja, nanošenja filmova, tiskarskih radova (posebice tzv. duboki tisak), kemijskog čišćenja;
- * lakiranja (elektrostatskog i raspršivanjem) pomoću komprimiranog zraka itd.;
- * rotacije: plastičnih dijelova (npr. kod ventilatora), odmota-vanja/namotavanja sintetskih folija, filmova, papira i tekstilnih materijala itd.;
- * brisanja/trljanja površina predmeta od polimernih materijala ili presvučenih/obloženih/premazanih takvim materijalima;
- * čišćenje podova metlama/četkama s plastičnim nitima (čekinjom od polimera);
- * duljeg rada ekrana osobnih računala, različitih monitora, televizora itd. (uzrokuje povećanje potencijala i do 80 kV/cm);
- * nakupljanja statičkog naboja na neuzemljenim površinama uzrokovanog obasjavanjem/emisijom jakih izvora EMZ (odašiljača).

²³ Većinom čistih ugljikovodika, brzinama većim od 3 m/s, a u slučaju nazočnosti vode, brzinama većim od 1 m/s. Veći dio kapljevine koje sadrže atome kisika u molekuli su dobri vodiči, ali to nije pravilo, posebice u slučaju nepolarnih ili slabo polariziranih otapala kao što je primjerice aceton, koji je iznimno opasan glede sposobnosti stvaranja i akumuliranja statičkog naboja.

²⁴ **Prag osjetljivosti** (bola/peckanja) **u čovjeka na izbijanje statičkog naboja je najmanje 1 mJ** (znači, još uvijek bitno ili višekратно **iznad poznatih vrijednosti veličina najmanje energije paljenja skoro svih gorivih plinova i para dobrog dijela gorivih kapljevine u optimalnoj/skoro stehiometrijskoj smjesi sa zrakom**).

III. VRUĆE – PREGRIJANE POVRŠINE

- a) **svojstva**: izvori energije najčešće relativno dovoljno bogati s E_i , ali ne i uvijek dovoljno visoke T_i za zapaljenje većine gorivih tvari;
($E_i > E_p$; $T_i >$ ili $< T_p$).
- za paljenje su bitna samo pregrijana / dovoljno vruća, vrela ili užarena mjesta (površine, točke);
 - zapaljenje često ne nastaje odmah već tek nakon stanovitog vremena ili razdoblja postupnog tamnjenja i karbonizacije, zbog termičkog razlaganja (*pirolize*) čvrstih i kapljevutih organskih tvari;
- b) **nastaju**:
- na grijačima i vrućim, vrelim ili užarenim površinama, ploham ili pločama;
 - na motorima s unutarnjim izgaranjem i kompresorima u radu (posebno na ispušnim cijevima/loncima ili na izlaznim cjevovodima);
 - na pregrijanim električnim vodičima, izolatorima, utičnicama/priključcima, sklopkama, prekidačima, otpornicima, rastalnim osiguračima, uređajima i strojevima ili inim potrošačima (npr. zbog preopterećenja, prevelike otpornosti ili slabog spoja/kontakta):
 1. *izravnim zagrijavanjem* zbog prolaska električne struje u električnom uređaju ili izvan njega (npr. zbog *struje grješke* kroz tehnološke vodljive strukture) ili
 2. *neizravnim zagrijavanjem* toplinskim gubicima električnog uređaja u normalnom pogonu ili u slučaju kvara na uređaju;
 - na površinama bojlera, parnih kotlova, retorti, isparivača, peći, dimnjaka, ventilacijskih cijevi, rashladnih kolona s prirodnom ventilacijom itd.;
 - na radiatorima, cjevovodima i postrojenjima zagrijavanim parom (najviše do 400 °C);
 - na žaru, pepelu i šljaci iz ložišta i ognjišta;
 - na upaljenim (tinjajućim ili žarećim) cigaretama, cigarama i lulama (temperature žara obično između 350 °C i 650 °C, ali povremeno/pri usisavanju duhanskog dima i do 1050 °C);
 - prilikom „*fitiljnog*“/deflagracijskog spontanog egzotermnog razlaganja u hrpama mineralnog (umjetnog) gnojiva na osnovi *amonijevog nitrata* („*KAN*“ i neke formulacije/sastavi „*NPK*“);
 - na kapljicama metala pri njihovom taljenju (prskanjem kapljica u okolinu);
 - na metalima i/ili inim materijalima zagrijanim trenjem, posebice zbog slabog podmazivanja tamo gdje je ono nužno/predviđeno (na: kočničkim diskovima/tarnim površinama, osovinama u ležajevima i vodilicama, brtvenicama itd.);
 - trenjem nedovoljno zategnutih remenicama kod remenskog prijenosa vrtnje;
 - trenjem jedne od auto guma u paru na teretnim vozilima o podlogu (cestu) zbog djelomične izdušenosti/nejednake napumpanosti zračnica/auto guma ili zbog bitno različitog stupnja, opsega, pa i položaja mjesta, istrošenosti profila auto guma u paru;
 - trenjem zbog upadanja stranih tijela u rotirajuće raspore;

- na površinama zagrijavanim toplinskim spektrom elektromagnetskog zračenja sunca, plamena ili užarene/rastaljene mase (metala, stakla ili inog materijala);
- na površinama tvrdih materijala koje su prethodno ili malo prije zavarivane, rezane, brušene ili bušene;
- na vrućim/pregrijanim mjestima (točkama, površinama) industrijskih procesnih postrojenja;
- na još neohlađenim elektrodama za zavarivanje;
- na usnacima netom/nedavnom ugašenih plamenika itd.

IV. MEHANIČKE I KEMIJSKE ISKRE

- a) *svojstva*: izvori energije često relativno dovoljno visoke temperature (T_i), a najčešće nedovoljno bogati na energiji (E_i) za zapaljenje većine gorivih tvari; ($T_i > T_p$; $E_i >$ ili $< E_p$).

- požarno/eksplozijski opasne *mehaničke/kemijske iskre nastaju*:
 1. *iznimno jakim udarcima* kojima energija prelazi i **1 MJ** (primjerice pri udarcima/sudarima autocisterni, vagon cisterni ili brodova);
 2. *vrlo jakim udarcima* kojima je energija reda veličine **1 kJ** (ekvivalentna energiji udarca mase 25 kg pri padu s visine 4 m);
 3. *jakim udarcima* čelika (željeza) o tvrdu kovinu s udarnom energijom reda veličine **100 J** (ekvivalentna energiji udarca mase 5 kg pri padu s visine 2 m);
 4. *umjereno jakim udarcima*, kojima je energija reda veličine **10 J** (ekvivalentna energiji udarca mase 0,5 kg pri slobodnom padu s visine 2 m), koji mogu nastati baratanjem ručnim alatima;
 5. *laganim udarcima* kojima je energija reda veličine **1 J** (ekvivalentna energiji udarca mase 0,1 kg pri slobodnom padu s visine 1 m) po površini (čak i sa slabo iskrecem, tzv. „beziskrecem“, alatom od bakra, monela, berilija, itd.):
 - koja je *zahrđala*, tj. prekrivena *željeznim oksidom* (nastaju tipične *kemijske iskre*);
 - koja ima tragova *aluminija* (Al) ili *magnezija* (Mg najmanje 10^{-3} gr), npr. po kućistima od lakih kovina kao npr. „silumin“ sa sadržajem magnezija (Mg do 6%) i titana (Ti), ukupno zajedno do 15% (nastaju tipične *kemijske iskre*);
- temperatura mehaničkih/kemijskih iskri nastalih zbog udara željeza ili čelika o druge tvrde predmete može biti i do $T_i = 1000$ (1876²⁵) °C;
- imaju ograničenu sposobnost paljenja (pripaljivanja) jer obično nisu dovoljno koncentrirane;
- vrlo lako/uspješno pale (pripaljuju) zapaljive/eksplozivne smjese svih gorivih plinova i para sa zrakom (kisikom iz zraka) kojima je minimalna E_p ispod 0,1 mJ te neke zapaljive smjese gorivih prašina sa zrakom (posebice metalnih prašina Mg i zraka);
- mogu uzrokovati (potaknuti) tinjanje u sloju nataložene gorive prašine, što potom može uzrokovati pripaljenje/eksploziju eventualno nazočnih zapaljivih smjesa gorivih plinova ili para sa zrakom (kisikom).

²⁵ U slučaju pobuđivanja tzv. „*termitne reakcije*“ izgaranja čestica lake kovine (Al, Mg i/ili inog) s oksidansom (najčešće željeznim ili inim pogodnim čvrstim metalnim oksidom ili čvrstim nemetalnim oksidansom).

b) *nastaju*:

- prilikom padova, prevrtanja, sudaranja ili udaranja alata, lanaca, željeznih/čeličnih bačava ili kanistara, dijelova strojeva ili postrojenja na druge metale ili jako tvrde (kamene, betonske) površine (također prilikom prometnih nesreća);
- trenjem, kotrljanjem, struganjem, lupanjem ili gibanjem metalnih dijelova po drugim metalima ili jako tvrdim površinama (npr. napuknuti čelični kotači koji jako taru po tračnicama, trenje kotača u zavoju, pri kočanju i kočnica u željezničkih vagona, brzo spuštanje sidrenih lanaca, trenje metalnih dijelova sanduka ili zrnaca pijeska utisnutih u drvenu ambalažu po metalnim površinama, lupanje i struganje po metalnoj ili betonskoj podlozi alatom ili obuće s potkovicama i čeličnim čavlima itd.);
- udaranjem rotirajućih ili vibrirajućih metalnih tijela po tvrdim učvršćenim površinama ili kovinama (npr. krila ventilatora ili centrifugalne crpke po kućištu) ili po tvrdim predmetima zahvaćenim između rotirajućih i učvršćenih metalnih površina (zbog zamora materijala i deformacija ili otkidanjem nekog rotirajućeg dijela);
- rezanjem, struganjem, brušenjem, pjeskarenjem ili čišćenjem kovina brusnim kolima ili inim reznim/brusnim pločama;
- padom ostataka meteorita;
- padom letjelica ili njihovih dijelova u zračnom prometu ili u svemirskim (satelitskim) programima;
- padom neispravnih protugradnih ili inih raketnih projektila i modela letjelica;
- udarom projektila u obliku krhotina dijelova opreme ili postrojenja prilikom njihovog rasprskavanja (zbog fizikalne ili kemijske eksplozije);
- udarom zrna streljiva ili krhotina od (ili zbog) eksplozije minsko-eksplozivnih sredstava (MES), naprava ili eksploziva;
- prskanjem i šljakom prilikom autogenog rezanja ili zavarivanja ili prilikom elektrodučnog zavarivanja;
- sudaranjem/udaranjem površina predmeta od aluminijske ili tvrdih predmeta kojima je površina posuta aluminijskom prašinom s/po površinama presvučenim/posutim željeznim oksidom (hrđom);
- u ispušnim cijevima i loncima motora s unutarnjim izgaranjem i dimovodnim kanalima na kojima se nataložila čađa;
- raspršivanjem tinjajućih krutih čestica iz dima prilikom izgaranja tvari celuloznog podrijetla (drveta, papira, kartona, ugljena, biljnog otpada itd.), poglavito onih bogatih smolastim, uljnim ili masnim tvarima;
- udaranjem po kućištima od lakih kovina ili od njihovih stanovitih legura („*silumin*“ i dr.) itd.

V. TERMIČKI UČINCI MIKROBIOLOŠKIH PROCESA, ADSORPCIJE, APSORPCIJE, OTAPANJA, RAZRJEĐIVANJA, HIDRATACIJE, PROCESA TIHE OKSIDACIJE (AUTOOKSIDACIJE), RAZLAGANJA I/ILI INIH EGZOTERMNIH FIZIKALNIH I/ILI KEMIJSKIH PROCESA (TJ. SVIH ONIH PROCESA KOJI MOGU UZROKOVATI SAMOZAGRIJAVANJE I SAMOZAPALJENJE)

- a) *svojstva*: ovi procesi najčešće oslobađaju relativno dovoljnu količinu energije (E_{pr}), a ponekad i postižu relativno dovoljno visoku temperaturu procesa (T_{pr}) za zapaljenje većine gorivih tvari;

$$(E_{pr} > E_p; T_{pr} > \text{ili} < T_p).$$

b) *nastaju*:

- pojavom i razvitkom takvih procesa u svih onih tvari i smjesa tvari koje su sklone *samooksidaciji* i/ili *inim spontanim egzotermnim reakcijama* te *samozagrijavanju* (akumuliranju topline) i *samozapaljenju*:

1. *tvari biljnog podrijetla*;
2. *ugljeni*;
3. *gorive tvari koje sadrže sušive i polusušive masti i ulja* i
4. *kemijski nestabilne tvari i smjese kemijski inkompatibilnih*, spontano egzotermno reagirajućih, tvari.

VI. TOPLINSKI UČINCI PROCESA ADIJABATSKOG STLAČIVANJA PLINOVA I PARA, TLAČNIH UDARNIH VALOVA I UBRZANOG STRUJANJA PLINOVA KOJI SU JAKI OKSIDANSI, REDUCENSI ILI IZNIMNO NESTABILNI

- a) *svojstva*: ovi procesi najčešće generiraju relativno dovoljnu količinu energije (E_{pr}) i često razvijaju dovoljno visoku temperaturu (T_{pr}) za zapaljenje većine gorivih (lakozapaljivih) tvari;

$$(E_{pr} > E_p; T_{pr} > \text{ili} < T_p).$$

b) *nastaju*:

1. ADIJABATSKO STLAČIVANJE (KOMPRIMIRANJE):

- stlačivanjem zraka (pregrijani ili nedovoljno ohlađeni zrak po izlasku iz kompresora posebno je opasan jer može uzrokovati zapaljenje i eksplozivno izgaranje eventualno nazočnih masti i ulja);
- stlačivanjem gorivih plinova ili para gorivih ugljikovodika u smjesi sa zrakom/kisikom ili inim plinovitim oksidansom (prema mehanizmu paljenja zapaljive smjese kao i kod dizel motora);²⁶
- stlačivanjem zraka ušlog/prodrlog i raspršenog u mjhurićima u crpke, cjevovode i posude ispunjene kapljevitim ili ukapljenim ugljikovodicima zbog iznenadnog i trenutnog (naglog) zaustavljanja (blokiranja) ili pokretanja (deblokiranja) protoka kapljevine;²⁷

²⁶ Primjerice, akcidentalnim usisavanjem i stlačivanjem gorivih plinova/para/aerosola sa zrakom u kompresoru.

²⁷ Primjerice, stlačivanje džepova/mjhurića smjese gorivih para i zraka „zarobljenih“ u spremnicima/posudama /cjevovodima unutar stupca gorive kapljevine, zbog naglog porasta hidrauličkog tlaka kapljevine, uzrokovanog naglim pokretanjem ili zaustavljanjem gibanja kapljevine. Stupac kapljevine, u tom slučaju, djeluje kao klip koji sabija zapaljivu smjesu i pritom uzrokuje njeno paljenje i eksploziju u cilindru dizel motora.

- prilikom naglog upuštanja plinova pod visokim tlakom u cijevi koje su na jednom mjestu zatvorene ventilom, klapnom ili krajnjom/slijepom prirubnicom (pali se mazivo na mehanizmu ili polugama ventila, a preko njega okolne zapaljive tvari/zapaljive smjese);
- 2. TLAČNI UDARNI VALOVI:
 - zbog tlačnog udarnog vala nastalog prilikom fizikalnih eksplozija posuda, spremnika, cjevovoda i inih dijelova ili elemenata postrojenja pod tlakom;
 - zbog tlačnog udarnog vala nastalog prilikom eksplozije eksploziva (klasičnih ili suvremenih eksplozivnih tvoriva ili naprava) i inih eksplozivnih tvari;
 - zbog tlačnog udarnog vala nastalog pucanjem (implozijom) posuda, spremnika, cjevovoda, TV monitora (katodnih cijevi), rasvjetnih tijela i inih dijelova ili elemenata postrojenja i instalacija pod izrazitim podtlakom ili vakuumom (npr. u slučaju pucanja fluorescentnih cijevi – uskladištenih ili u funkciji pored izvora zapaljivih plinova, para ili aerosola, posebice onih koji imaju vrlo malu vrijednost veličine najmanje E_p);
- 3. UBRZANO STRUJANJE JAKIH FLUIDNIH (PLINOVITIH ILI KAPLJEVITIH) OKSIDACIJSKIH ILI REDUKCIJSKIH TVARI:
 - strujanjem kisika ili inog plinovitog jakog oksidansa (odnosno reducensa) pod tlakom, ukoliko se u takvoj struji nađu čestice sklone ubrzanju oksidaciji (npr. čestice čađe, masnoće/ulja, celulozne ili polimerne prašine, prašine lakih kovina, hrđe, brušenja ili željeza otkrhnute od stjenki cijevi), odnosno čestice sklone brzom redukciji u struji jakog reducensa (npr. H_2);
 - otvaranjem i zatvaranjem ventila ili zasuna koje uzrokuje povećane brzine strujanja kisika/plinovitog oksidansa ili vodika/plinovitog reducensa, odnosno etina (acetilena)/iznimno nestabilne tvari itd.

VII. ELEKTROMAGNETSKO I IONIZIRAJUĆE ZRAČENJE TE ULTRAZVUK

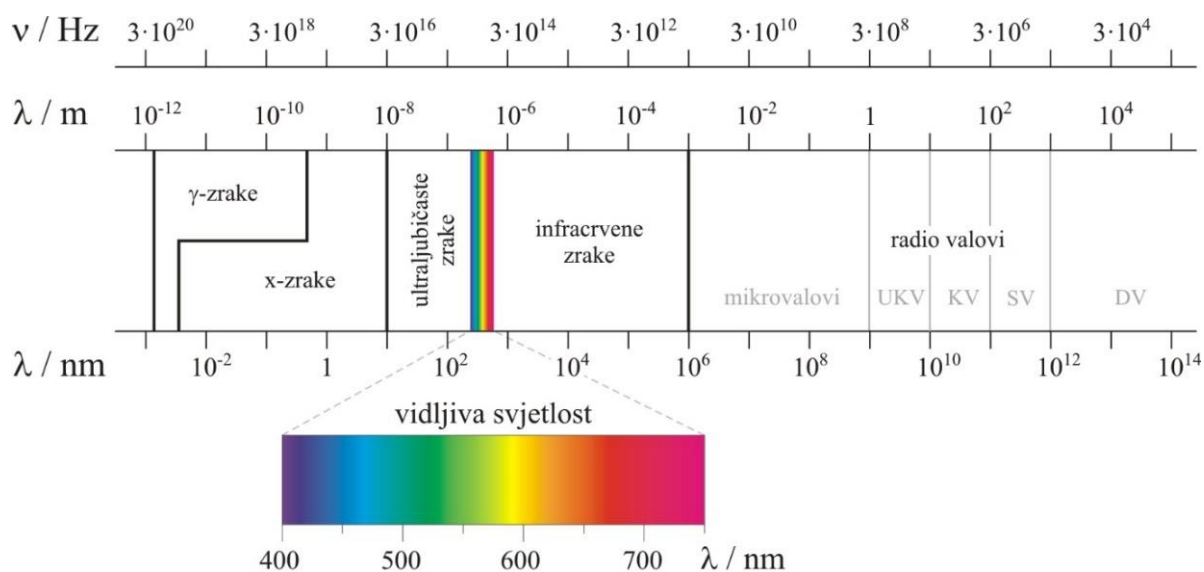
- kao *izravan izvor energije paljenja*;
- kao *neizravan izvor energije paljenja*;
- a) **svojstva**: izvori energije koji mogu imati, predavati ili inducirati relativno dovoljno veliku energiju (E_i) i osigurati dovoljno visoku temperaturu tvari (T_t) za zapaljenje stanovitih gorivih tvari;

$$(E_i > \text{ili} < E_p; T_t > \text{ili} < T_p).$$

1. VRSTE IZVORA ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA (EMZ):
 - izvori EMZ *visokih frekvencija* (VF): $f = 10^4 - 3 \times 10^{12}$ Hz (radiostanice; odašiljači; industrijski, obrtnički, medicinski, pa i stanoviti kućanski, visokofrekventni generatori ili aparati za grijanje, toplinsku obradu hrane, sušenje, otvrdnjavanje, zavarivanje i rezanje);
 - izvori EMZ *vrlo visokih frekvencija* (VVF) – tzv. *optičkog spektra*: $f = 3 \times 10^{11} - 3 \times 10^{15}$ Hz (sunce, laseri, jaki izvori svjetlosti).

2. VRSTE IZVORA IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA:

- izvori ultraljubičastog svjetla (UV);
- rendgenske cijevi;
- laseri;
- radioaktivni materijali (radioaktivni izotopi);
- elektronski akceleratori i
- atomski reaktori.



Slika 9: Elektromagnetski spektar. Stanovite razine gustoće upadne energije EMZ mogu biti **izravnim ili neizravnim praktičkim izvorom energije paljenja (E_p)** stanovitim vrsta **lakozapaljivih gorivih** (kao i vrlo osjetljivih vrsta **eksplozivnih**) **tvori**, pod stanovitim posebnim – za plodonosno iniciranje zapaljivanja povoljnim – uvjetima i okolnostima [http://www.periodni.com/gallery/spektar_elektromagnetskog_zracenja.png].

3. VRSTE IZVORA ULTRAZVUKA²⁸:

- ultrazvučni terapijski, dijagnostički i ispitni uređaji.

b) *nastaju*:

- induciranjem VF EMZ (snage veće od 1W) u vodljivim strukturama ili konstrukcijama (visokim kranovima i sl. konstrukcijama i vodljivim dijelovima kao „*antena*“ u područjima jakih EM polja) u električne napetosti i struje (uzrokuje žarenje ili taljenje tankih vodiča ili pojave iskrenja);
- emisijom radara nastaju snažna električna polja na metalnim predmetima (opasnost za zrakoplove prilikom punjenja goriva, može uzrokovati zapaljenje Al i Mg strugotina i prašina);

²⁸ Premda prema zvukovnoj (a ne elektromagnetskoj) naravi spada u posve zasebnu skupinu moguće energijske sastavnice potencijalnih uzročnika požara/eksplozija (tj. u onu **mehaničke naravi**), ovdje je svrstan zbog sličnosti po *valnoj naravi* i zbog sličnosti u mehanizmu izazivanja gibanja i interreakcije (aktiviranja) atoma/molekula/čestica gorive tvari i oksidansa (molekula kisika).

- zagrijavanjem nevodljivih materijala jakim poljima VF EMZ (u neposrednoj blizini VF generatora ili odašiljača);
- fokusiranjem sunčevog zračenja lećama ili zakrivljenim (konkavnim) zrcalima (solarnim reflektorima) postižu se najviše temperature; čestice zapaljive prašine posebno jako apsorbiraju ovu energiju);
- emisijom lasera po gorivim krutim, tekućim, aerosolnim i plinovitim tvarima (izravno paljenje) i na većim udaljenostima (intenziteta upadne energije zračenja I_{ez} veće od $0,1 \text{ mJ/mm}^2$ i gustoće toka upadne energije zračenja Q_{ez} veće od 5 mW/mm^2 , odnosno izlazne snage veće od 500 mW);
- emisijom lasera po negorivim tvarima (neizravno paljenje) i na većim udaljenostima (zagrijavanjem površina tijela ili čestica prašine u atmosferi i na zaprljanim prozirnim tvarima);
- IC-emisijom: plamena; industrijskih peći; grijalica; usijanih ili užarenih metala; površina žarećeg izgaranja tvari; jakih žarulja, rasvjetnih tijela i reflektora;
- fokusiranjem jačih izvora svjetlosti u točki paljenja postiže se T_t do $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ i više ($I_{ez} > 0,1 \text{ mJ/mm}^2$ i $Q_{ez} > 5 \text{ mW/mm}^2$);
- svjetlosnim obasjavanjem fotokemijski nestabilnih tvari, smjesa tvari i procesa pri povoljnim reakcijskim uvjetima²⁹;
- apsorpcijom energije ionizirajućeg zračenja veće od $4 \times 10^{10} \text{ Bq}$ (oko 1 Ci) u plinovima i parama, a posebice u česticama prašine koje se mogu pritom užariti i prouzročiti zapaljenje eventualno nazočne eksplozivne atmosfere (neizravno paljenje);
- apsorpcijom energije zračenja i zagrijavanjem samih radioaktivnih izvora koji mogu zapaliti nazočne gorive tvari, a posebice lako okolnu zapaljivu atmosferu (izravno paljenje);
- radiolizom, kemijskim razlaganjem i transformacijama molekula pod utjecajem ionizirajućeg zračenja mogu nastati nestabilni/vrlo aktivni radikali koji mogu generirati stanovite eksplozivne tvari ili smjese kao uzročnike zapaljenja i/ili eksplozije;
- apsorpcijom ultraljubičastog (UV) zračenja (snage $> 0,5 \text{ W/cm}^2$, odnosno energije $> 50 \text{ mJ/cm}^2$) u plinovima, parama i prašinama zapaljivih atmosfera;
- apsorpcijom energije ultrazvuka u krutinama, tekućinama i plinovima (snaga gustoće u stvorenom zvučnom polju iznad $0,1 \text{ W/cm}^2$), posebice u vlaknastim i praškastim tvarima (npr. u tekstilnim materijalima ili u naslagama prašine) što uzrokuje vibracije, međusobno trenje i zagrijavanje niti/čestica gorive tvari (*izravno paljenje*) ili negorive tvari (*neizravno paljenje*).

²⁹ Primjerice, svjetlosnim obasjavanjem smjesa plinova: acetilen (etin) i klor; amonijak i klor-oksidi; amonijak i halogenirani spojevi; amonijak i halogenovodici; ugljični monoksidi i klor; alifatski ugljikovodici i klor; ugljikov disulfid i kisik; ugljikov disulfid i sumporni dioksidi; selenovodik i kisik; oksidi dušika i klor; oksidi dušika i kisik; vodik i klor; vodik i klor-oksidi itd.

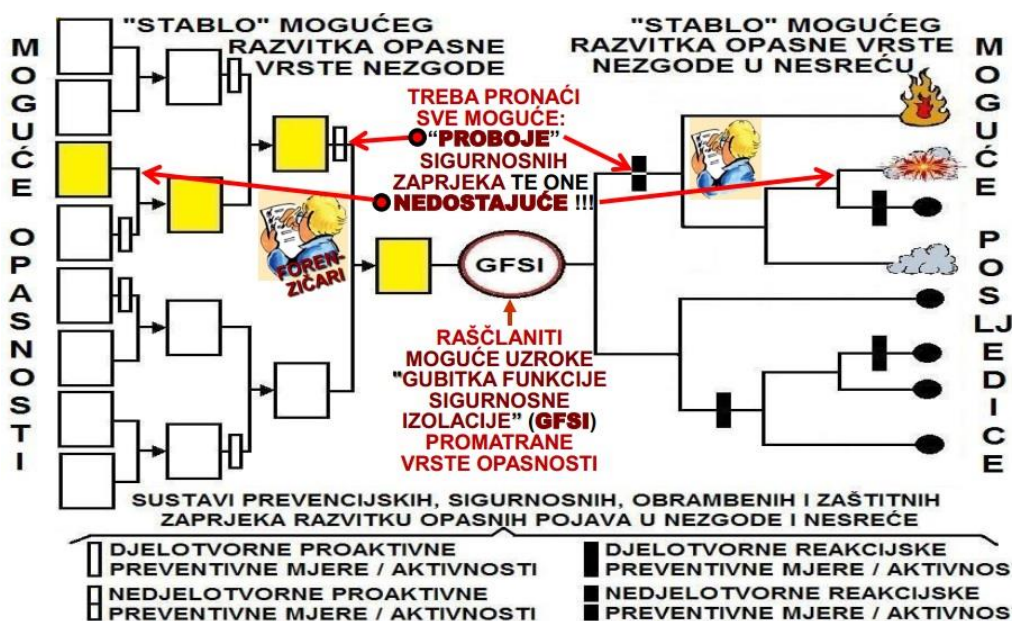
Primjena takvih ili sličnih, glede biti stvari pravilno i dovoljno selektivno razvrstanih i specificiranih modela sustava klasificiranja i jasnog razlučivanja skupina uzroka požara, eksplozija, tehnoloških havarija, nesreća pri radu i ekoloških nesreća u industriji i u inim područjima/djelatnostima objektivno može biti temeljem daljeg znatno svrhovitijeg prikupljanja, primjerene obrade/kompatibilne uporabe i prispodobe, nedvojbenog/nevišeznačnog tumačenja i interpretacije te optimalne uporabe relevantnih podataka i informacija iz takvih štetnih događaja, ponajprije u praksi istraživanja i promicanja prevencije, ali i poradi bržeg i učinkovitijeg forenzičnog istraživanja načina uzroka, uvjeta i okolnosti nastanka takvih događaja u svakodnevnoj istražiteljskoj praksi [8].

Praktični primjer primjene jednog od takvih modela, usko vezan uz problematiku uzroka požara i eksplozija sa zapaljivim kapljevinama, objašnjen je u potpoglavlju 4.1 uz pomoć tzv. *dijagrama uzroka i posljedica*.

4. PRIMJENA SUVREMENIH METODA I TEHNIKA ZA RAŠČLANJIVANJE OPASNOSTI I PROSUĐIVANJE RIZIKA PRI ISTRAŽIVANJU I FORENZIČNOM UTVRĐIVANJU UZROKA POŽARA I EKSPLOZIJA

Za uspješnu primjenu neke od postojećih metoda za raščlanjivanje opasnosti i prosuđivanje rizika, osiguranje konačnog uspjeha u suzbijanju eventualnih pokušaja terorističkih i inih zločinačkih djelovanja, kao i za izgradnju primjerenog sustava djelotvornog integriranog upravljanja sigurnošću dijelova i specifičnim cjelinama sustava, ključno je poznavanje (vidi sliku 10):

- značajki svih realno mogućih vrsta i oblika posve slučajnih nesreća ili nezgoda,
- objektivno mogućih uvjeta i okolnosti za njihovu pojavu,
- realno mogućih scenarija načina njihova iniciranja, razvoja i zbivanja te
- bitnih obilježja njihovih realno mogućih opasnih učinaka (vidi slike 11 i 12),
- opasnosti od mogućih izvedbenih inačica eventualnim organizirano kriminalnim, terorističkim, ekstremističkim ili inim razlozima motiviranih napada (uključujući stadije organiziranog kriminalnog operativnog planiranja, pripreme, izvedbe i prikrivanja počinitelja i pomagača takvih vrsta napada), a pritom i
- stvarnih vlastitih mogućnosti i sposobnosti pravodobnog uočavanja i prepoznavanje (što većeg broja), već prvih, indicija možebitnog zbivanja onih djelovanja i aktivnosti koje možebitno upućuju na realnu mogućnost od terorističkog ili inog ekstremističkog ili zločinačkog napada [9].



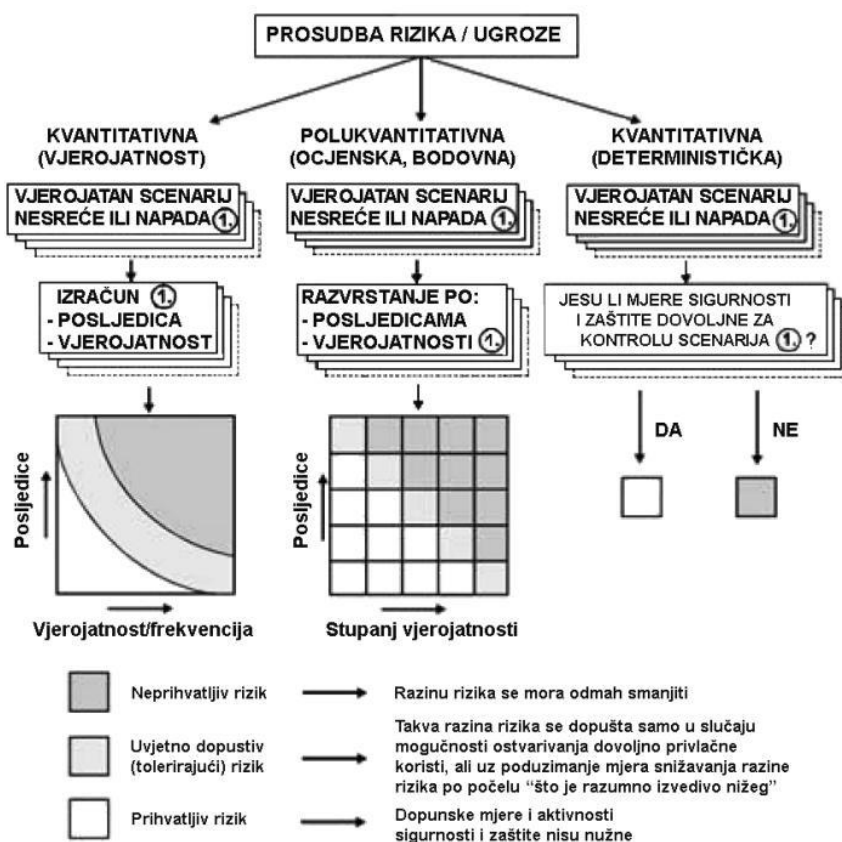
Slika 10: Načelan prikaz raščlanjivanja mogućih uzroka nastale nesreće s opasnim tvarima ili energijama (sukladno „Seveso III Direktivi“) [11].

Izbor analitičkih pristupa, metoda i tehnika za raščlanjivanje opasnosti i prosuđivanje ugroženosti mora biti primjeren značajkama promatranog dijela raščlanjivanog kritičnog sustava, procesa ili aktivnosti, u svim možebitnim uvjetima i okolnostima njegova funkcioniranja/zbivanja (vidi sliku 11). Zato se preporuča, kada god je to moguće, kombinirana primjena nekoliko pogodnih metoda i tehnika, a posebice izvedba prisposodbnih provjera rezultata primjene svih onih, previše krutih ili jednoobraznih, jednom riječju univerzalnih „metodika/metodologija“ koje su, navodno, pogodne za vrlo širok spektar vrsta predmeta raščlambe i prosudbe njihovih kritičnih značajki [9].

Kako je svakom promatranomu sustavu, procesu ili aktivnosti svojstven samo ograničen broj vrsta i oblika realnih opasnosti, one se mogu uspješno identificirati samo u onoj mjeri u kojoj ih tim službeno angažiranih analitičara poznaje i prepoznaje (vidi sliku 12) [9].

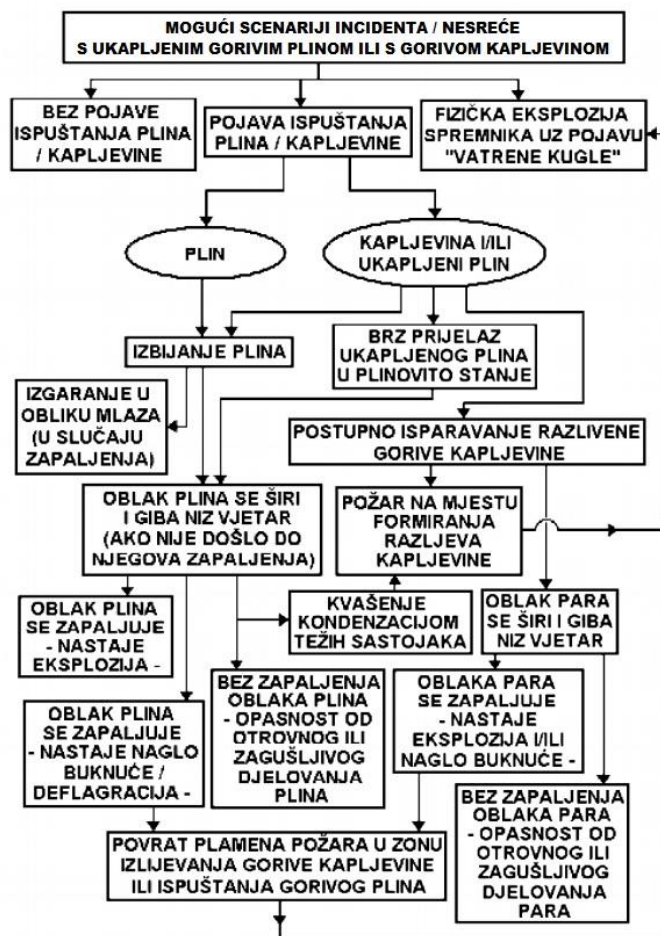
Što nam je više detalja o ključnim obilježjima sigurnosno zanimljivih sustava, procesa, operacija ili aktivnosti poznato, to se aktualno raspoložive metode i tehnike, kao alati za raščlanjivanje opasnosti i prosuđivanje značajki razmjera mogućih ugroza ili razina rizika, mogu djelotvornije primijeniti poradi lakšeg i pouzdanijeg lociranja svih onih kritičnih mjesta gdje se nalaze potencijalni uzroci nesreća ili inih štetnih događaja, bez obzira na mogući način njihova iniciranja [9].

Primjer jedne takve metode razrađene posebno za slučaj **požara, eksplozije** i/ili kaznenog djela **onečišćenja okoliša sirovom naftom ili naftnim derivatom iz spremnika** sa svim ključnim obilježjima za postavljanje početnih istražnih pretpostavki prikazan je na slici 14.



Slika 11: Opća podjela skupina metoda i tehnika za prosudbu mogućih razina rizika [9].

Na sljedećoj slici dan je primjer mogućih scenarija razvoja potencijalnih vrsta i oblika opasnosti od **incidenta/nesreće s ukapljenim gorivim plinom ili s gorivom kapljevinom** koje se mora uzeti u obzir i pažljivo razmotriti prilikom raščlambi opasnosti za svaki takav ili sličan događaj te za sve realno moguće prisutne visoko/dovoljno vrijedne i vrlo ranjive sadržaje u njihovu okruženju – počevši od trenutka nastanka eventualne nesreće ili izvedbe zločinačkog napada.



Slika 12: Mogući scenariji incidenta ili veće nesreće sa spremnicima ili reaktorima s gorivim plinovima ili kapljevinama [11].

4.1 Dijagram uzroka i posljedica

Dijagram uzroka i posljedica (DUiP, engl. C&E, tj. dijagram u obliku „riblje kosti“, ili tzv. „ishikawa“/„fishikawa“ dijagram) je metoda objedinjenog grafičkog predočavanja dostupnih spoznaja o svim mogućim uzrocima nastanka bilo koje od mogućih vrsta požarno, eksplozijski, havarijski, radno, ekološki ili na ine načine opasnih ili štetnih odstupanja ili pojava u sklopu nekog proizvodnog/tehnološkog/radnog procesa ili operacije [11].

Moguće uzroke se obično grupira u najviše 6 (ili iznimno 8) mogućih glavnih kategorija kako bi se olakšalo otkrivanje i prepoznavanje svih realno mogućih izvora svake promatrane vrste ili oblika mogućeg općeopasnog i/ili štetonosnog odstupanja ili pojave:

- **ljudi:** svatko od osoba tko je uključen u raščlanjivani proces/operaciju;
- **metode:** način izvođenja/provedbe raščlanjivanog procesa ili operacije i posebni zahtjevi ili uvjeti nužni za to (kao što su planovi, programi, procedure napuci, recepture, pravila, tehničke norme, zakonski i podzakonski propisi itd.);
- **postrojenje:** strojevi, uređaji, aparati, instalacije, oprema, alati ili njihove pojedine sastavnice itd. nužni za normalno i sigurno odvijanje procesa ili obavljanje zadaća;
- **materijali (tvoriva) i informacije** (podaci): sirovine; aditivi; pričuvni dijelovi; otapala; razrjeđivači; maziva; ogrjevnj, rashladni, inertni i/ili hidraulični mediji; komprimirani zrak; pakirni materijali, odnosno sve vrste nužnih informacija ili konkretnih podataka itd. koji se rabe ili su potrebni pri proizvodnji promatranog (polu)proizvoda;
- **mjerenja** (kontrola i nadzor): podaci iz procesa potrebni za prosudbe sigurnosti i odvijanja procesa i kakvoće (polu)proizvoda;
- **okružje** (uvjeti i/ili okolnosti odvijanja procesa): mjesto (mikro i makro lokacija); radni uvjeti (moguća buka, vibracije, vidljivost/osvjetljenje, škodljiva onečišćenja zraka itd.); mikroklimatski uvjeti ili geofizičko i hidrometeorološko vrijeme (doba dana/noći, intenzitet sunčevog zračenja, temperatura; vrste, svojstva i količine oborina; smjer i brzina vjetra; vlažnost i tlak zraka; proizvodna, opća, skupna i osobna sigurnosna i zaštitna kultura (na promatranom operacijskom/procesnom mjestu, u procesu/tvrtki te u njenom logističkom i lokacijskom okružju) [11].

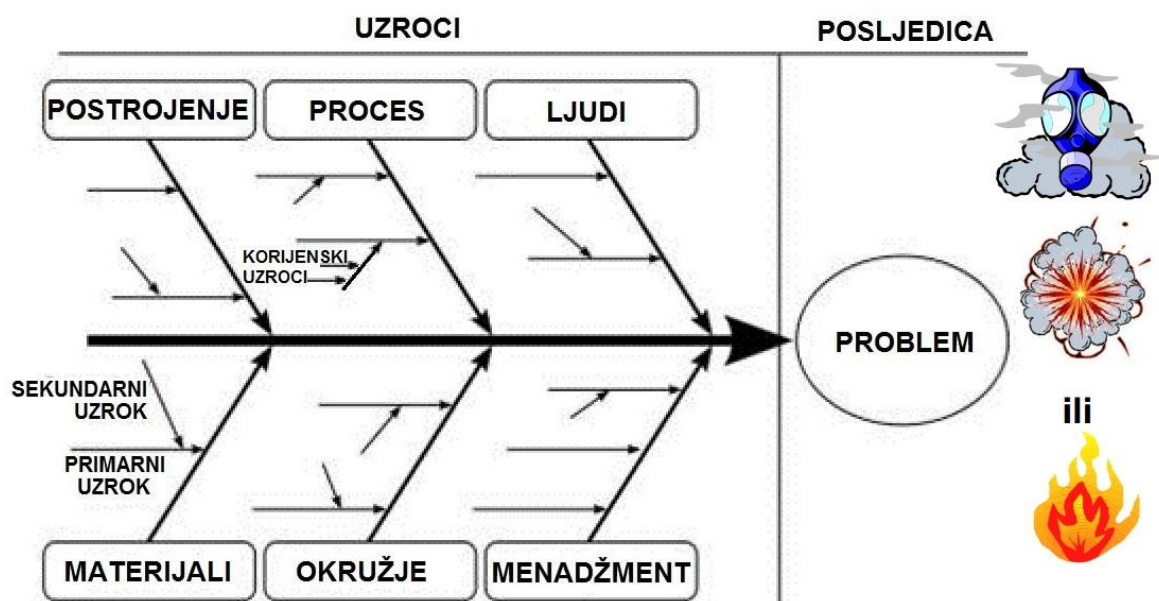
Njima se, ovisno o potrebama raščlambe, ponekad mogu dodati još sljedeće **2 kategorije:**

- **menadžment/utjecaj (ne)dostupnih financijskih sredstava;**
- **održavanje** pogona, postrojenja, uređaja, instalacija itd. [11].

Dijagram uzroka i posljedice nam može pomoći u otkrivanju ključnih odnosa između različitih varijabli, a mogući uzroci omogućuju dodatan uvid u obilježja istražno raščlanjivanog procesa ili operacije. Do skupina mogućih uzroka se može doći na osnovi rezultata rasprava skupa stručnjaka primjenom metode „**oluje mozgova**“³⁰ [11].

Tako dobivene skupine mogućih uzroka se onda razvrstava u sklopu prije predodčenih uobičajenih glavnih kategorija dijagrama u obliku „**riblje kosti**“ (koji mogu imati posebno jedinstven međuodnos i utjecaj u pojedinim slučajevima) (vidi sliku 13) [11].

³⁰ Metoda „olujna mozgova“ primjenjuje se pri identificiranju mogućih opasnih pojava ili rizičnih događaja (koji su mogli uzrokovati istraživanu vrstu nesreće) na osnovi spoznaja stečenih iz sadržaja slobodnih promišljanja i zaključaka pri vješto poticanim i vođenim zajedničkim raspravama iskusnih vlasnika/upravitelja rizičnih objekata, članova timova projekatana i voditelja/osoblja timova za osiguranje odgovarajuće infrastrukture i pružanje odgovarajuće logističke potpore [11].

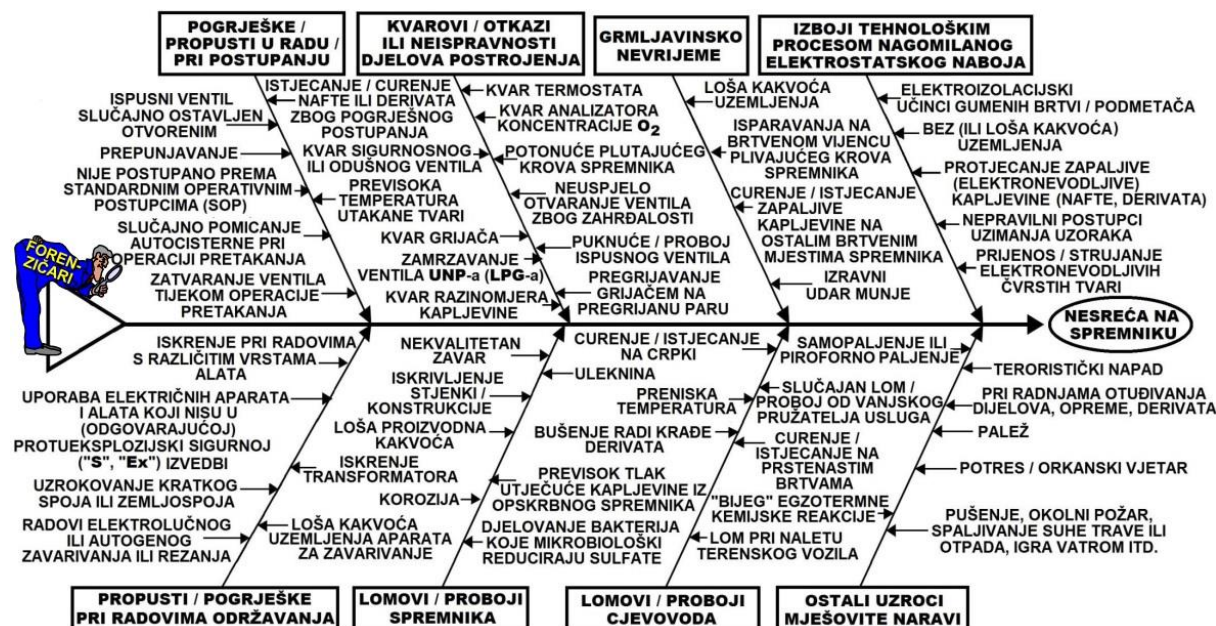


Slika 13: Dijagram u obliku „riblje kosti“ i glavne kategorije mogućih uzroka požarno, eksplozijski, havarijski, radno, ekološki ili na ine načine opasnih ili štetnih odstupanja ili pojava u sklopu nekog proizvodnog/tehnološkog/radnog procesa ili operacije [11].

Glavni nedostatak ove metode je u tome što ona po svojoj naravi **ne omogućuje prepoznavanje i sagledavanje razlika** između **nužnih**³¹ i **dovoljnih**³² **uvjeta** ili **okolnosti** za nastanak nekog raščlanjivanog opasnog ili štetnog odstupanja ili pojave, stoga je konačnu istražnu raščlambu potrebno završiti primjenom neke od metoda ili tehnika za točno identificiranje i utvrđivanje svih **inicijalnih, pridonosećih i korijenskih uzroka** istraživane **nesreće**, rukovodeći se pronađenim tragovima na užem mjestu događaja [11].

³¹ **Nužan uvjet** za nastanak stanovitog nepovoljnog događaja je onaj bez kojeg se on ne može dogoditi.

³² **Skup dovoljnih uvjeta** čine sve one situacije ili okolnosti pri kojima se takav događaj mora dogoditi.

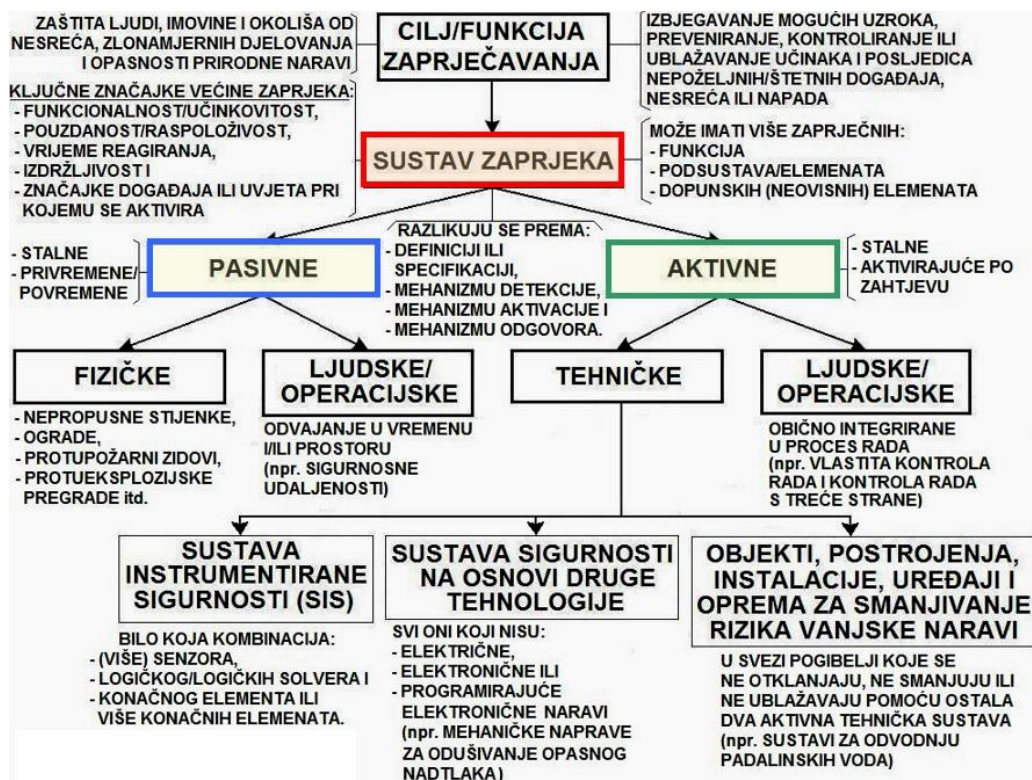


Slika 14: Primjer načina primjene dijagrama u obliku „riblje kosti“ za postavljanje početnih istražnih pretpostavki o mogućem uzroku nastanka požara, eksplozije i/ili kaznenog djela onečišćenja okoliša sirovom naftom ili naftnim derivatom iz spremnika [11].

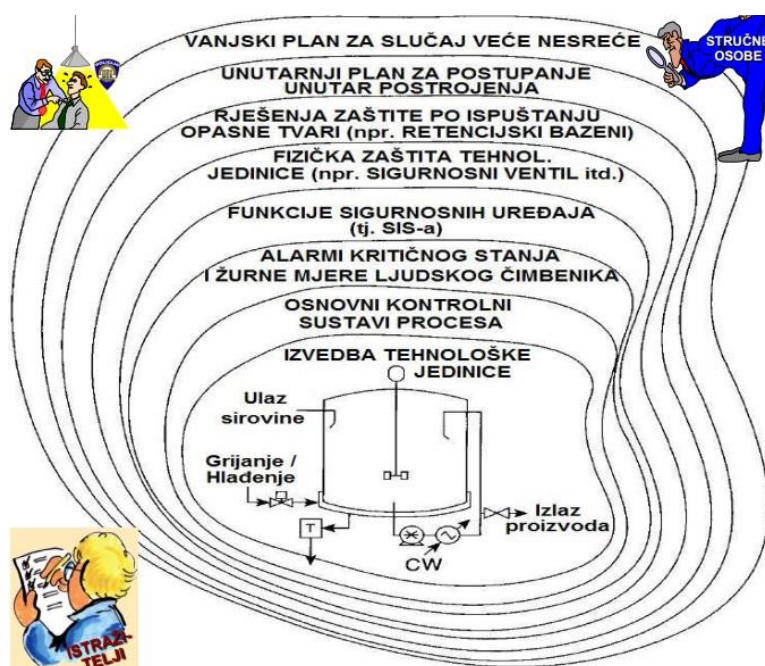
4.2 Sustavi sigurnosnih i zaštitnih zaprjeka (barijera)

Također, predmetom istražne raščlambe treba biti i **sustav sigurnosnih i zaštitnih zaprjeka**. Postojanje i funkcionalnost propisima reguliranih tzv. **slojeva sigurnosnih i zaštitnih zaprjeka** bitno smanjuje rizik od pojave i nesmetanog razvitka svakog od mogućih specifičnih scenarija nesreća s požarno, eksplozijski, ekološki i na ine načine opasnim tvarima, posebice u procesnoj industriji (vidi sliku 16). Ovakav sustav u većini slučajeva sadrži veći broj sastavnica (vidi sliku 15) čije je nepostojanje/nefunkcioniranje potrebno provjeriti/istražiti, ali njegova primjena pri istraživanju uzroka ima relevantan utjecaj na donošenje ispravnih zaključaka pri istraživanju i uvelike pridonosi uspješnom rješavanju nastalih scenarija nesreća [11].

Jedan takav tipičan primjer nefunkcioniranja više sastavnica takvog sustava možemo vidjeti i na poslije obrađenom primjeru **eksplozije oblaka para benzina u britanskom naftnom terminalu „Buncefield“**, gdje je zbog **otkazivanja ugrađenih sustava instrumentirane sigurnosti (SIS-a)** na spremniku došlo do izlivanja golemih količina benzina. Pare benzina pomiješane sa zrakom su stvorile veliki oblak zapaljive i eksplozivne smjese do čijeg je iniciranja došlo gotovo trenutno, a eksplozije su popraćene velikim požarima koji su zahvatili veliki terminala. **Sabirni prostori kao fizičke zaprjeka zahvaćeni požarom nisu zadržali svoju cjelovitost**, a posljedica toga je bilo curenje i izlivanje opasne mješavine goriva, vode i vatrogasne vode po skoro čitavom prostoru naftnog terminala te susjednim stambenim i poslovnim prostorima.



Slika 15: Sastavnice sustava zaprjeka (barijera) pojavama iniciranja nesmetanog odvijanja scenarija nastanka nesreća s opasnim tvarima [11].



Slika 16: Slojevi sigurnosnih i zaštitnih zaprjeka (barijera) na primjeru procesne industrije [11].

5. ZNAKOVITI PRIMJERI POŽARA, EKSPLOZIJA I TEHNOLOŠKIH HAVARIJA (PEH) NA SPREMNICIMA SA ZAPALJIVIM KAPLJEVINAMA

5.1 Eksplozija oblaka para benzina u britanskom naftnom terminalu „Buncefield“

Ranoga nedjeljnoga jutra 11. prosinca 2005. godine nizovi eksplozija i popratnih požara poharali su veliki dio britanskog naftnog terminala „Buncefield“ u gradu Hemel Hempstead, nanijevši tako ogromnu materijalnu štetu tamošnjem okolnom području [7].

Do glavne i najveće eksplozije je došlo u 06:01 sati. Eksplozija je poprimila goleme razmjere i nakon toga je bila popraćena golemim požarom koji je zahvatio još 23 okolna spremnika s naftnim derivatima i znatan dio naftnog terminala. U incidentu je bilo ozlijeđeno 43 ljudi, ali srećom bez težih posljedica. Ipak, susjednim stambenim i poslovnim prostorima su nanesene znatne materijalne štete. Iz svojih domova je evakuirano oko 2.000 ljudi, a dijelovi prometnica morali su biti zatvoreni. Požar je potrajao punih 5 dana i poharao je većinu naftnog terminala, pri čemu su nastale velike količine gustog, crnog dima koje su se raspršile preko cijele južne Engleske, a i šire [7].

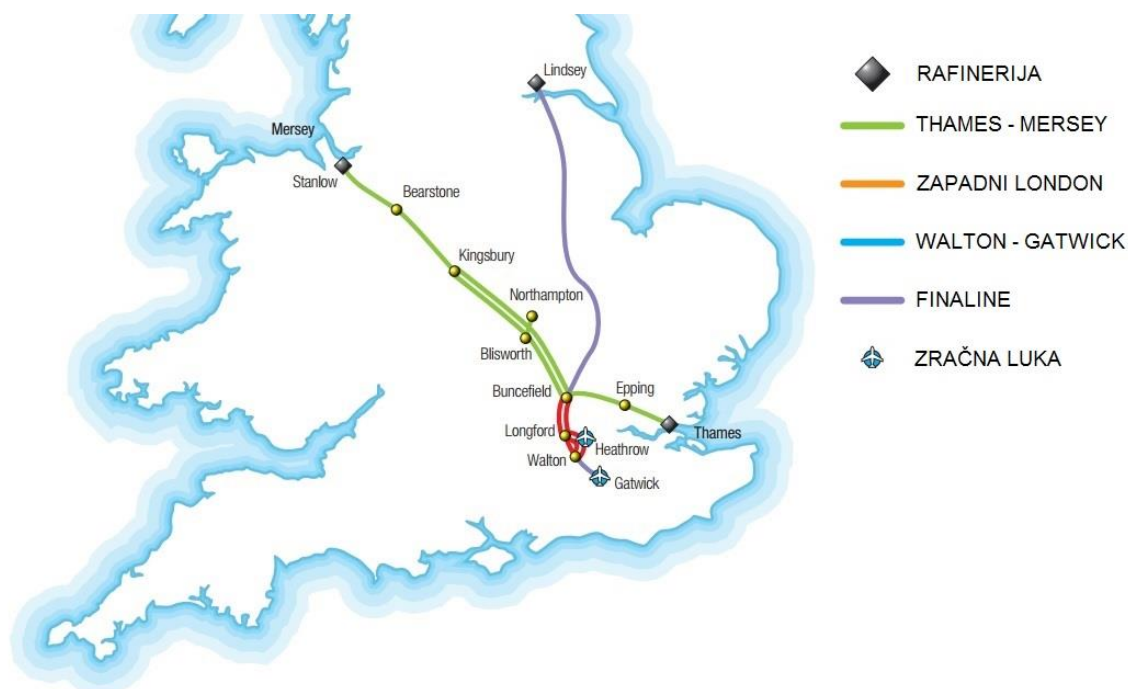


Slika 17: Izgled poharanog naftnog terminala nakon ugašenog požara (**spremnik 912**, iz kojega su se izlile znatne količine benzina iz čijih se para zatim formirao oblak zapaljive i eksplozivne smjese, označen je kružnicom crvene boje) [7].

5.1.1 Obilježja naftnog terminala „Buncefield“

Naftni terminal „Buncefield“ je veliko skladišno postrojenje sa spremnicima udaljeno oko 4,8 km od centra grada Hemel Hempstead u okrugu Hertfordshire, UK. U spremnicima se skladište nafta i naftni derivati koji se zatim otpremaju u druga postrojenja, poput benzinskih postaja ili zračnih luka. „Buncefield“ je bio peti najveći od ukupno 108 naftnih terminala u cijelom UK [7].

„Buncefield“ je strateški bio jako važan naftni terminal koji je putem naftovoda distribuirao i opskrbljivao gorivom grad London i jugoistočni dio Engleske, uključujući pritom i zračnu luku *Heathrow*. Sagrađen je i počeo s radom 1968. godine, još kada nije bio okružen brojnom stambenom, poslovnom i inom infrastrukturom [7].



Slika 18: Shematski prikaz mreže naftovoda putem kojih se dopremalo gorivo do naftnog terminala „Buncefield“ [7].

U prosincu 2005. godine skladišni prostor naftnog terminala „Buncefield“ je bio podijeljen na tri glavne zone (vidi sliku 19):

- *Hertfordshire Oil Storage Ltd (HOSL)*: udruženje naftnih kompanija *Total UK Ltd* i *Chevron Ltd*. Ova zona je bila podijeljena na dvije sekcije – *HOSL Istok* i *HOSL Zapad*, u kojima je bilo dopušteno skladištiti do 34.000 tona motornih goriva i do 15.000 tona loživog ulja;
- *British Pipeline Agency Ltd (BPA)*: udruženje naftnih kompanija *Shell* i *BP*, zona također podijeljena na sekciju *Sjever* (ili „*Cherry Tree Farm*“) i sekciju *Jug*. Tu je bilo dozvoljeno skladištiti do 70.000 tona motornih i ostalih goriva te
- *BP Oil Ltd*: zona na južnom kraju naftnog terminala u kojem je bilo dopušteno držati do 75.000 tona motornih goriva [7].

Gorivo se do navedenih zona dopremalo putem sljedećih triju naftovoda:

- *Finaline* – naftovod između rafinerije *Lindsey* i sekcije *HOSL Zapad*;
- naftovod *M/B* (Merseyside/Buncefield) – između okruga Merseyside i sekcije *BPA Sjever* (sjeverni dio linije Thames-Mersey);
- naftovod *T/K* (Thames/Kingsbury) – između rafinerije *Coryton* i sekcije *BPA Jug* (južni dio linije Thames-Mersey) (vidi sliku 18) [7].



Slika 19: Tlocrt naftnog terminala „Buncefield“ - sekcije i zaštitni pojasevi [7].

Gorivo je putem naftovoda u terminal bilo dopremano u pošiljkama, koje se zatim, ovisno o vrsti goriva, odjeljivalo u predviđene spremnike. Većina naftnih derivata dalje se otpremala u autocisternama, koje se punilo na pretakalištima, a kerozin se putem naftovoda *Zapadni London* i *Walton – Gatwick* prosljeđivalo do zračnih luka *Heathrow* i *Gatwick* [7].

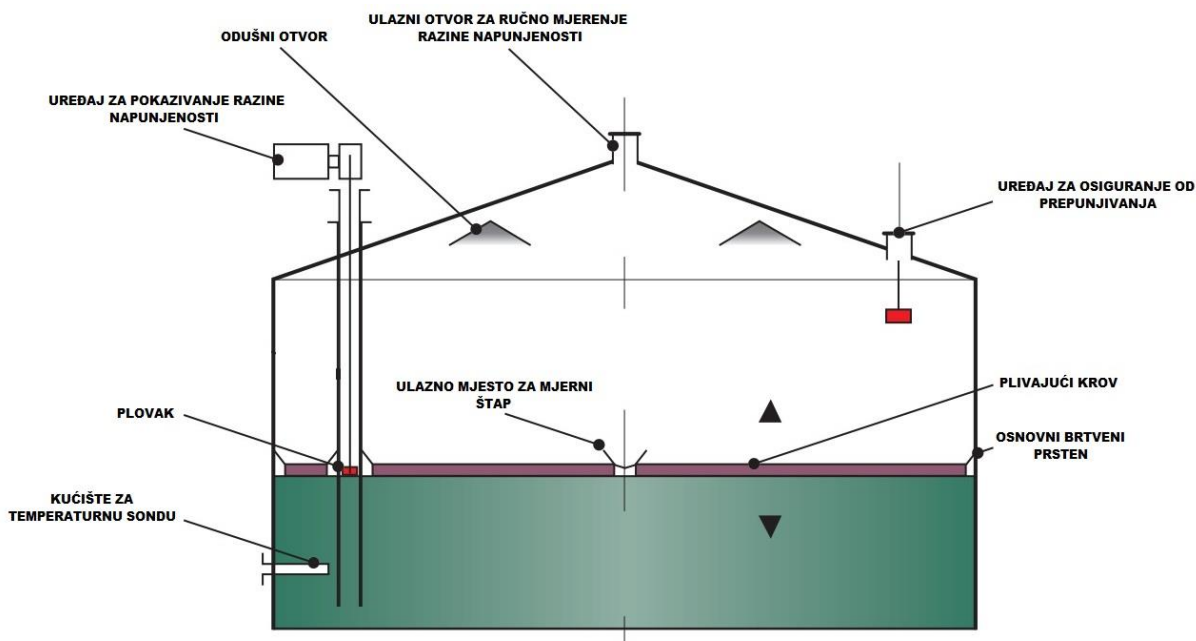
Naselje Maylands nalazi se neposredno zapadno od terminala, a centar grada Hemel Hempstead smješten je jugozapadno od terminala [7].

Naftni terminali projektirani su za skladištenje goriva unutar za to predviđenih spremnika i cjevovoda. Okolni prostor mora biti planiran tako da može spriječiti gorivo (ili neku drugu tvar opasnu za okoliš, primjerice vatrogasnu vodu) od širenja izvan područja terminala ukoliko bi došlo do izlivanja ili istjecanja. Na spremnicima su ugrađeni uređaji za pokazivanje razine napunjenosti te uređaji za osiguranje od prepunjivanja spremnika, kao i akustični alarmi koji se aktiviraju ukoliko bi razina goriva u spremniku dosegla granične vrijednosti (vidi sliku 20). Isto tako, spremnici su smješteni unutar ograđenih prostora iz razloga da bi se spriječilo prodiranje stranih tvari unutar ili prodiranje uskladištene kapljevine izvan njih u slučaju nenamjernog izlivanja ili istjecanja i nazivaju se „sabirnim prostorima“, unutar kojih je najčešće ugrađeno više spremnika [7].

5.1.2 Faktografska rekonstrukcija slijeda zbivanja

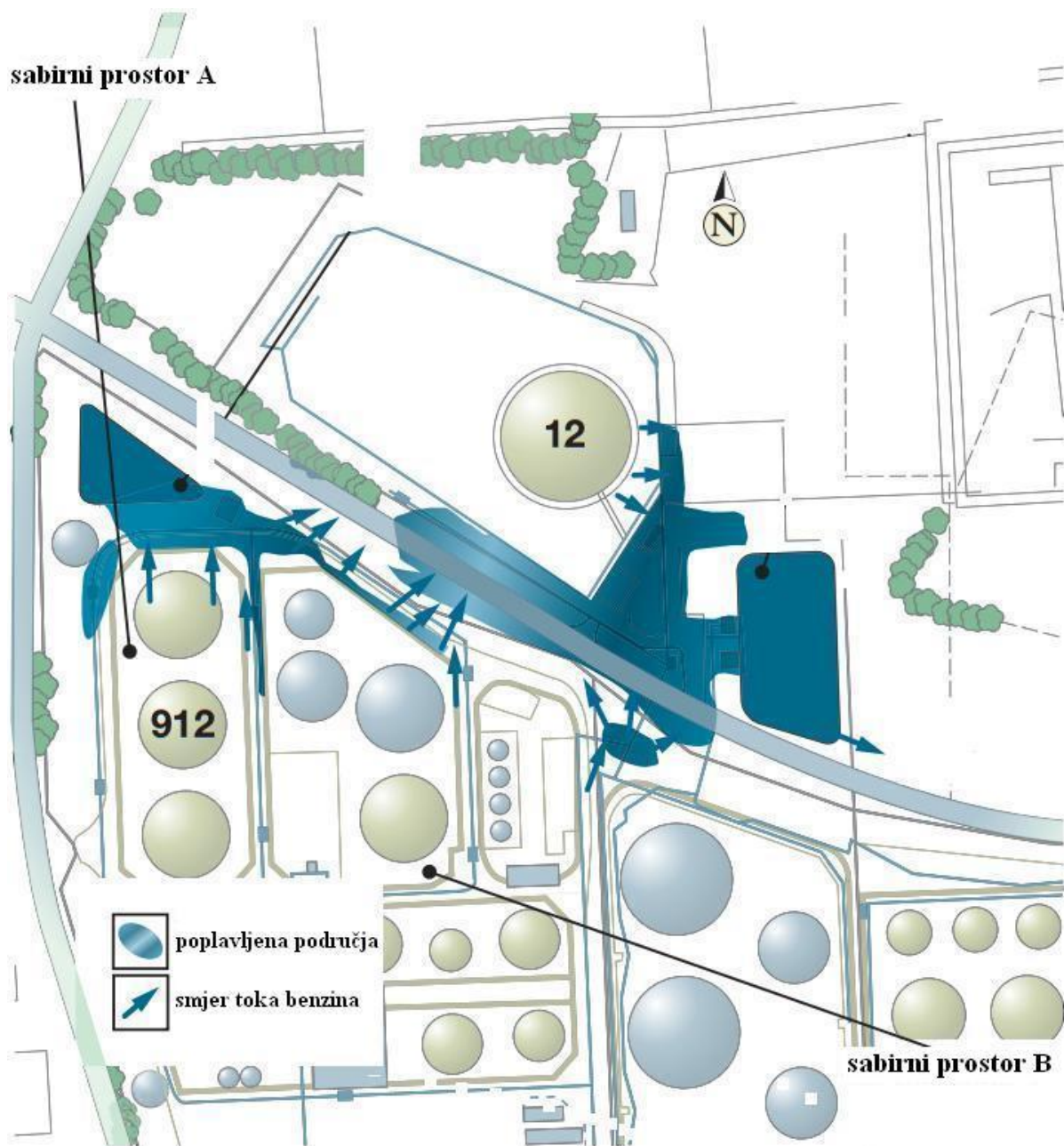
U večernjim satima (18:50 sati) 10. prosinca 2005. godine je putem naftovoda *T/K* stizala pošiljka bezolovnog benzina, kojom se punilo **spremnik 912** u zoni *HOSL Zapad*. Spremnik, kapaciteta od 6 milijuna litara, je bio opremljen **automatskim uređajem za pokazivanje razine napunjenosti spremnika** (engl. *automatic tank gauging system, ATG*) preko kojega se računalno nadzirala razina napunjenosti spremnika od strane osoblja zaduženog za nadzor terminala. Međutim, u 03:05 sati sljedećeg jutra, 11. prosinca, ATG je „zablokirao“, tj. prikazivao je uvijek istu razinu napunjenosti. Posljedica toga je bila to da se upozorenja na zaslonu računala, koja se trebaju aktivirati ukoliko razina napunjenosti spremnika dosegne graničnu vrijednost, nisu mogla aktivirati iz razloga što su očitavanja ATG-a bila ispod tih vrijednosti, tj. stajala su na mjestu bez obzira na to što je količina benzina u spremniku rasla. Slijedom toga, nadzorno osoblje nije bilo obaviješteno o opasnosti od prepunjivanja spremnika i razina benzina u spremniku je nastavila nekontrolirano rasti [6].

Spremnik je bio opremljen i **automatskim uređajem za osiguranje od prepunjivanja spremnika** (engl. *independent high-level switch, IHLS*) koji osigurava nesmetan protok goriva do vrijednosti koja je dopuštena i potpuno zatvara dotok goriva ukoliko se ta razina dosegne. Pri doseganju granične vrijednosti do koje spremnik smije biti napunjen, IHLS odašilje i akustični signal (alarm), ali kako je i taj uređaj zakazao, dotok goriva u spremnik nije bio zatvoren i do 05:37 sati količine benzina su premašile maksimalni kapacitet spremnika i došlo je do izlivanja kroz odušne otvore na krovu spremnika [6].



Slika 20: Skica presjeka nadzemnog spremnika s plivajućim krovom [7].

Na dokaznim snimkama videonadzornih uređaja je vidljivo kako se ubrzo nakon toga oko spremnika 912 počeo stvarati oblak bijele pare. U uvjetima bez vjetera koji su tada prevladavali, oblak (koji je najvjerojatnije bio smjesa ugljikovodika i kristala leda) se postupno počeo širiti okolo u promjeru od oko 360 metara, što znači da se proširio i izvan područja sekcije *HOSL Zapad* i zahvatio parkiralište u naselju *Maylands* i sekciju *BPA Sjever* u kojoj se nalazio **spremnik 12**, napunjen kerozinom [6].



Slika 21: Prikaz smjerova curenja benzina i poplavljenih dijelova u sekciji *HOSL Zapad* [6].

Oblak su prvo primijetili građani koji su bili najbliže ugroženom području i vozači autocisterni koji su se u to vrijeme zatekli na pretakalištu, te su o tome odmah obavijestili radnike terminala. Zvono za uzbunu je aktivirano u 06:01 sati, čime se automatski uključila i crpna stanica stabilnog sustava za gašenje požara. Eksplozija oblaka smjese para benzina sa zrakom dogodila se gotovo trenutačno, a najvjerojatnije je uzrokovana iskrenjem elektromotora pri pokretanju pumpe na crpnoj stanici. Do trenutka prije nego što je došlo do eksplozije, iz spremnika je već bilo iscurilo preko 250.000 litara benzina [6].

Žestina eksplozije je bila daleko veća nego što je to uopće bilo za očekivati. Šteta koja je nastala djelovanjem eksplozije bila je golema. Srećom, nitko nije smrtno stradao, iako je bilo preko 40 ozlijeđenih. Golemi požar koji se nakon toga proširio na skoro čitavi terminal (zahvaćeno je još preko 20 susjednih spremnika s naftom i naftnim derivatima) je najveća mirnodopska tragedija koja je pogodila UK i koja je potrajala punih 5 dana [6].

Pri gašenju požara su utrošene znatne količine vode i vatrogasne pjene. Mješavina goriva, vode i vatrogasne pjene koja se nije uspjela zadržati u sabirnim prostorima je potopila veći dio područja, a posljedično su se formirali i cijeli „bazeni“ (vidi sliku 21). Odvodnja atmosferskog taloga iz sabirnog prostora obavlja se putem nepropusnih kanala. Opasne tvari koje je sadržavala ova mješavina su perfluorooktansulfonska kiselina iz vatrogasne pjene te ugljikovodici kao što su benzen i ksilen. Ova mješavina je putem tih kanala dospjela u taložnik koji se nalazi ispod naftnog terminala i služi kao pročistač prije nego što se ostatak propusti u tlo i daljnji okoliš. Onečišćenje nije utjecalo na zalihe pitke vode u susjednim područjima, ali opasnost od posljedica zagađenja je još uvijek prisutna. Razine kretanja opasnih tvari u taložniku prati EA³³ [6].

5.1.3 Stručni nalaz vještaka za utvrđivanje uzroka, uvjeta i okolnosti nastanka požara i eksplozije

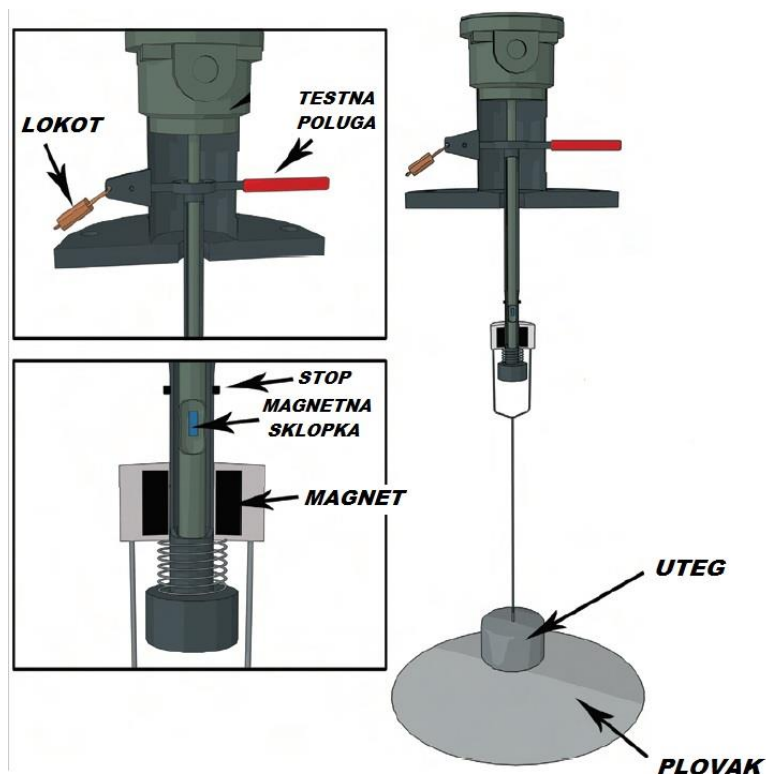
Glavni uzrok ovoga incidenta je otkazivanje **automatskog uređaja za pokazivanje razine napunjenosti spremnika** (engl. *automatic tank gauging system, ATG*) i **uređaja za osiguranje od prepunjivanja spremnika** (engl. *independent high-level switch, IHLS*) za vrijeme punjenja spremnika 912. Kvar na ovim uređajima je „otkazivanje prve sastavnice sigurnosnog sustava zaprjeka“, a nakon kojeg je za vrijeme i nakon požara uslijedilo otkazivanje i druge (sabirni prostori) i treće (neadekvatan sustav drenaže) sastavnice ovog sustava implementiranog u terminalu za slučaj nastanka ovakvog ili sličnog incidenta.

5.1.3.1 Uređaj za osiguranje od prepunjivanja spremnika (IHLS)

Ovaj uređaj je na spremnik 912 bio ugrađen 1. srpnja 2004. godine i dizajniran tako da se njegova funkcionalnost može periodično provjeravati. Nažalost, oni koji su ugradili uređaj i nakon toga bili zaduženi za osiguranje njegove funkcionalnosti nisu bili upoznati s njegovim načinom rada niti su razumjeli koliko je za ispravno funkcioniranje značajan i lokot kao dio samoga uređaja, tako da je sve zajedno stvaralo samo jedan lažan osjećaj sigurnosti. Uređaj je nakon ugradnje na spremnik bio testiran na ispravnost, ali nakon provjere lokot nije vraćen na mjesto jer se mislilo da treba biti uklonjen nakon ugradnje i da je namijenjen samo u „protuprovalne svrhe“. Nakon ovog postupka uređaj je postao potpuno neuporabiv [6].

Tomu je pripomogao nedostatak informacija te vrste u korisničkom priručniku i dokumentaciji s kojom je ovaj uređaj isporučivan krajnjim korisnicima od strane dobavljača [6].

³³ *The Environment Agency* – Agencija za zaštitu okoliša u UK.



Slika 22: Skica presjeka uređaja za osiguranje od prepunivanja spremnika [6].

Uređaj je funkcionirao na način da kad je sadržaj spremnika dotakao površinu plovka, uteg bi izgubio na masi što je onda omogućavalo približavanje magneta prema magnetnoj sklopki. Kada je magnet približen sklopki na određenu udaljenost, zatvara se strujni krug koji onda omogućuje aktiviranje alarma (vidi sliku 22). Testna poluga je omogućavala aktiviranje alarma neovisno o tomu je li sadržaj spremnika dotiče plovak ili ne, što je trebalo simulirati situaciju do koje bi došlo ukoliko bi razina sadržaja u spremnika premašila dopuštene vrijednosti [6].

Polugu je bilo moguće staviti u tri položaja. Kada je bila postavljena horizontalno, to je značilo da je uređaj u radnom stanju i da funkcionira na prije opisan način, a taj položaj je trebao biti osiguran lokotom kako poluga ne bi ispala i spustila se prema dolje. Kako bi se mogla provesti provjera ispravnosti uređaja, lokot je bilo potrebno skinuti s njegovog mjesta i tek tada je bilo moguće polugu staviti u gornji položaj, što je onda omogućilo zatvaranje strujnog kruga i aktiviranje alarma. Nakon toga je polugu bilo potrebno vratiti u horizontalni položaj i opet je osigurati lokotom. Uređaj je mogao funkcionirati i na način da se alarm oglašava ukoliko se sadržaj spremnika prazni ispod dopuštenih vrijednosti, a simulacija te radnje se mogla provesti kada bi se poluga spustila prema dolje [6].

Kako lokot nakon prvotne provjere ispravnosti nije bio vraćen na svoje mjesto, poluga nije bila osigurana i spustila se u donji položaj, što se u ovom slučaju nije smjelo dogoditi jer je uređaj bio isključivo namijenjen za osiguranje od prepunivanja spremnika [6].

Proizvođač je nakon ovoga incidenta na uređaj počeo ugrađivati osigurač koji sprječava polugu od ispadanja iz horizontalnog položaja [6].

5.1.3.2 Automatski uređaj za pokazivanje razine napunjenosti spremnika (ATG)

Kvar na uređaju za pokazivanje razine napunjenosti spremnika je bio drugi glavni uzrok nastanka ove velike nesreće. Kazaljka na uređaju se zalijepila/zablokirala (uređaj je pokazivao stalno istu razinu napunjenosti), za što se znalo još prije incidenta jer se to od 31. kolovoza 2005. godine dogodilo već 14-ti put. Osoblje je ovaj nedostatak znalo uklanjati na način da su ručno podizali kazaljku do njezine najviše vrijednosti i tada ju puštali da pada i zaustavlja se na onim vrijednostima do kojih je spremnik bio napunjen [6].

Dobavljač je bio obaviješten o ovome kvaru i pozivan da ga otkloni, ali kvar se ponavljao i nakon toga, a uzrok je ostao nepoznat. Osoblje je ovaj kvar u nekim slučajevima prijavljivalo kao grješku u procesu, a u nekima nije [6].

Propusti u prijavljivanju kvarova i nepravilno održavanje su ključni preventivski propusti koji su prethodili ovoj velikoj nesreći, a za koje je isključivo odgovorno vodstvo naftnog terminala. Propisane preventivske, sigurnosne, zaštitne i obrambene mjere i aktivnosti moraju biti posve implementirane i dosljedno/redovito poduzimane u svakoj tvrtci u kojoj se rukuje s većim količinama opasnih tvari [11].

5.1.3.3 Sabirni prostori

Sabirni prostori naftnog terminala nisu zadovoljavali propisane kriterije, a rezultat toga je bio istjecanje opasne mješavine goriva, vode i vatrogasne vode izvan njih i u okolicu. Zidovi sabirnih prostora nisu bili u potpunosti nepropusni i vatrootporni te tako nisu bili u stanju zadržati svoju stabilnost pod opterećenjem velikih količina vatrogasne vode koja je bila upotrijebljena za gašenje požara. Općenito, građevni materijal od kojih su zidovi bili izgrađeni je uspješno odolijevao požaru, ali kritična mjesta na kojima su se stvorile pukotine su bila spojna mjesta i otvori za cjevovode [6].

Kako bi se pucanje sabirnih prostora ograničilo na najmanju moguću mjeru, pri gradnji zidova se između spojnih mjesta betonskih ploča ostavlja prostor za dilataciju, jer su ploče podložne kasnijem širenju i skupljanju pod utjecajem temperaturnih razlika. Unutar dilatacija se ugrađuju brtvila koji su ključan dio konstrukcije i kojom se osigurava sprječavanje istjecanja zapaljivih kapljevina izvan sabirnih prostora. Brtvila moraju imati i određenu razinu vatrootpornosti [6].

U dilatacije jednog od sabirnih prostora naftnog terminala „*Buncefield*“ su bila ugrađena metalna brtvila i, iako je bio izložen požaru, izdržao je pod opterećenjem izlivena kapljevina i nije značajno procurio. Dilatacije ostalih sabirnih prostora sadržavale su plastična brtvila koja su bila pokrivena metalnim pločama s unutarnje strane i one su također zadržale svoju cjelovitost pod utjecajem požara. Jedan od sabirnih prostora koji nije bio izložen požaru, ali je zadržavao izlivena kapljevina tijekom incidenta, je procurio na mjestima u kojima nije bilo ugrađenih brtvila iako su na njih bile pričvršćene metalne ploče [6].

U dilatacije sabirnih prostora A, B i C u sekciji *HOSL Zapad* nisu bila ugrađena brtvila i tijekom požara su bila znatno oštećena, što je pogodovalo istjecanju goriva, vode i vatrogasne pjene u prostor terminala i okolicu. Isto to se dogodilo i u sabirnom prostoru gdje se nalazio spremnik 912 s kerozinom, osim što ovaj prostor nije održao svoju cjelovitost pod utjecajem opterećenja zbog dilatacija smještenih u uglovima prostora (vidi sliku 23) [6].



Slika 23: Spojno mjesto zida sabirnog prostora nakon ugašenog požara [7].

Mnogi sabirni prostori u sekciji *HOSL Zapad* su imali predviđene otvore za cjevovode, a zbog oštećenja nastalih i na ovim mjestima je došlo do još ubrzanijeg izlivanja kapljevina u okolni prostor. Cjelovitost sabirnih prostora na ovim mjestima narušena je zbog:

- termičkog rastezanja cijevi zbog utjecaja visokih temperatura požara (vidi sliku 24),
- pucanja cijevi koje su vodile iz spremnika, tako da je došlo do curenja kapljevina izvan sabirnih prostora i zbog
- gubitka ispune na mjestima na kojima su cijevi prolazile kroz zid (vidi sliku 25) [6].



Slika 24: Prikaz mjesta razaranja zida sabirnog prostora zbog termičkog rastezanja cijevi pod utjecajem visokih temperatura u požaru [6].



Slika 25: Gubitak ispune na mjestu prolaska cijevi kroz zid sabirnog prostora [6].

Zemljište naftnog terminala van sabirnih prostora bilo je opremljeno samo sustavom za odvodnju oborinskih voda i manjih količina opasnih tvari ukoliko bi došlo do nenamjernog izlivanja i gubitka proizvoda. Sustav nije bio projektiran za slučajeve velikih razmjera poput ovoga incidenta, tako da siguran prihvata i odvodnja silnih količina mješavine goriva, vode i vatrogasne pjene nastalih za vrijeme požara jednostavno nisu bili mogući. Jednom kad bi se sadržaj spremnika izlio ili procurio kroz sabirni prostor, mogao je otjecati bilo gdje jer na terminalu nisu postojali odvodni kanali niti bilo kakva uzvišenja koja bi spriječila bijeg opasnih tvari u okolicu i tako onemogućila dalje onečišćenje okoliša (vidi sliku 26) [6].



Slika 26: Mješavina goriva, vode i vatrogasne pjene koja je otekla izvan sabirnih prostora naftnog terminala [6].

5.1.3.4 Izvor energije paljenja

O razmjerima ovoga incidenta govori i još uvijek nerazjašnjen i neutvrđen točan izvor energije paljenja oblaka zapaljive i eksplozivne smjese para benzina pomiješanih sa zrakom. Sumnja se da su dovoljnu količinu energije i dovoljno visoku temperaturu za uspješno paljenje ove smjese **uzrokovale iskre elektromotora pri pokretanju crpke na crpnoj stanici stabilnog sustava za gašenje požara**, koja se nalazila na oko 5 metara udaljenosti od zida sabirnog prostora A u kojem se nalazio spremnik 912 [7].



Slika 27: Ostaci vodocrpne stanice nakon ugašenog požara [7].

5.1.4 Kritička raščlamba stručnog nalaza i mišljenja vještaka

Detaljna istraga koja je provedena na osnovi ovoga incidenta vještacima je pružila jedinstvenu priliku za procjenu prakse tadašnjeg menadžmenta. Zakazivanje uređaja ugrađenih na spremnik je samo primarni (tehnički) uzrok incidenta, ali osnovni i još važniji propusti koji dolaze do izražaja u svakom većem incidentu (skoro) uvijek polaze od strane uprave i menadžmenta. Zato je u ovome slučaju bitno staviti naglasak na sljedeće:

- **izostanak potrebnih ispitivanja i održavanja uređaja i infrastrukture** naftnog terminala gdje su se odvijale sigurnosno-kritične operacije;
- **izostanak efektivnog nadzora od strane stručnog osoblja;**
- **izostanak upravnog nadzora nad provođenjem definiranih radnih zadataka, poslova, postupaka obveza i odgovornosti** za pojedine dijelove tehnološkog procesa [6]

Nadalje, eksplozija oblaka para benzina u britanskom naftnom terminalu „*Buncefield*“ je pokazala da se visoka stručnost koja se očekuje od operatera zaduženih za nadzor nad odvijanjem sigurnosno-kritičnih operacija isto očekuje i od onih koji uređaje za takve namjene proizvode i stavljaju u uporabu. **Nedostatak kadrova određenih stručnosti i vještina na mjestu događaja doveo je do situacije da operateri nisu bili u stanju donijeti**

ispravne odluke u kritičnim trenucima zbog nedovoljnog razumijevanja radnih zadataka koje su trebali primjenjivati pri svome radu. Ukratko - dizajniranje, proizvodnja, ugradnja i održavanje je jednako bitna stavka kao i daljnje nadziranje i upravljanje tim uređajima [6].

S obzirom da je odnos između naftnog terminala i tvrtke s kojom je bio sklopljen ugovor o nabavi i ugradnji ovih uređaja u ovom kontekstu iznimno bitan, iz toga proizlazi i činjenica da ugovoreni posao nisu smjeli uzeti „*zdravo za gotovo*“ samo kako bi se zadovoljili pravni i zakonski okviri. U ovome slučaju menadžment se nije ponio kao „*inteligentan kupac*“ jer nije osigurao prisustvo stručnjaka koji bi nadzirali proces ugradnje ovih uređaja na spremnike i koji bi razumjeli principe prema kojima isti funkcioniraju. Pri izradi *Procjene ugroženosti* propustila se idealna prilika za utvrđivanjem slabih točaka sustava, a koje su bile prisutne upravo na onim mjestima gdje su se odvijale sigurnosno-kritičnih operacije. Smisao *Procjena ugroženosti* i *Planova mjera sigurnosti, zaštite i spašavanja* nije da se zadovolje pravni i zakonski okviri, nego ti dokumenti moraju pružiti temeljiti kritički osvrt na preventivne, sigurnosne, zaštitne i obrambene mjere i aktivnosti s ciljem sprječavanja velikih nesreća i ograničavanja njihovih djelovanja koja su štetna po ljude i okoliš [6].

Slični propusti uprave i menadžmenta koji su otkriveni prilikom istrage u naftnom terminalu „*Buncefield*“ se vrlo često susreću i u ostalim velikim nesrećama koje uključuju opasne tvari. Na primjer, utvrđeni propusti koji su utjecali na slučaj eksplozije zemnog plina 1998. godine u postrojenju „*Esso*“ u australskom gradiću Longfordu su:

- **izostanak i necjelovitost komuniciranja, dogovaranja, obavješćivanja i sporazumijevanja** između radnih skupina prilikom primopredaje smjena;
- **nedostatak stručnog inženjerskog kadra** i
- **neuspjeh provođenja poboljšanja stanovitih postojećih tehničkih/tehnoloških rješenja postrojenja, operacija i pojedinih njihovih dijelova** [6].

Eksplozija oblaka para benzina u naftnom terminalu „*Buncefield*“ je još samo jedan u nizu dokaza da menadžment većine postrojenja u kojima se rukuje s većim količinama opasnih tvari još uvijek nije razmotrio sigurnosne propuste utvrđene na prijašnjim incidentima i u obzir uzeo implementiranje novih sigurnosnih i zaštitnih mjera radi sprječavanja nastajanja novih požara, eksplozija i tehnoloških havarija [6].

5.2 Eksplozija u pogonu obrade otpadnih voda tvrtke „Bethune Point“, Daytona Beach (SAD)

Dana 11. siječnja 2006. godine, došlo je do eksplozije i požara u pogonu obrade otpadnih voda tvrtke „Bethune Point“, u gradu Daytona Beach, savezna država Florida (SAD). Od posljedica eksplozije smrtno su stradala dvojica radnika, dok je treći bio teško ozlijeđen od zadobivanja teških tjelesnih opekлина [20].

Tvrtka „Bethune Point“ obrađuje otpadnu vodu koristeći postupak u kojem je potrebno dodavanje **metanola**, lako zapaljive kapljevine. Metanol se skladišti u nadzemnom spremniku [20].

Američki CSB³⁴ utvrdio je da su radnici zaduženi za održavanje, koristeći plamenik za autogeno rezanje na oštećenom krovu iznad spremnika, slučajno zapalili zapaljivu i eksplozivnu smjesu para metanola sa zrakom koja je isparavala putem odušne cijevi na spremniku. Plamen je probio u unutrašnjost spremnika i uzrokovao eksploziju koja je oštetila cijevi spojene na spremnik, što je zatim popraćeno velikim požarom koji je zahvatio cijeli spremnik i radnike u blizini [20].

5.2.1 Faktografska rekonstrukcija slijeda zbivanja

Nekoliko uragana je tijekom 2004. i 2005. godine pogodilo grad Daytona Beach koji su uzrokovali materijalne štete u pogonu, uključujući i štete na dva metalna krova koji su služili kao zaklon iznad prostora u kojima su se nalazili spremnici s opasnim kemikalijama. Zaposlenici su 2005. godine uspjeli otkloniti jedan oštećeni krov bez incidenta, dok je do drugog krova, koji je bio postavljen iznad spremnika s metanolom, bilo teže pristupiti jer se nalazio na visini od oko 9 metara. Pri savjetovanju s nadzornikom pogona, glavni mehaničar je utvrdio da zaposlenici mogu ukloniti drugi krov ako se budu mogli koristiti s dizalicom i hidrauličnom radnom košarom. Glavni mehaničar je odredio plan i postupak skidanja oštećenog krova, **bez da je nadzornik pogona prethodno pregledao plan rada i previdio moguće opasnosti** [20].

U ponedjeljak, 9. siječnja 2006. godine, glavni mehaničar i mehaničar su se pripremali za uklanjanje krova tako što su posudili dizalicu od grada Daytona Beach i iznajmili hidrauličnu radnu košaru. Glavni mehaničar se nakon toga upoznao s načinom rada hidraulične radne košare, dok su zaposlenici već prije koristili dizalicu u pogonu i bili upoznati s njezinim načinom rada [20].

U utorak, 10. siječnja 2006. godine, glavni mehaničar, mehaničar i jedan od radnika su počeli s otklanjanjem krova iznad spremnika s metanolom. Stojeći u hidrauličnoj radnoj košari, glavni mehaničar i mehaničar su **rezali krov u dijelove, koristeći plamenik za autogeno rezanje s kisikom predmiješanim plinom acetilenom**, te ih vješali na kuku dizalice. Radnik koji je upravljao dizalicom je odrezane dijelove krova spuštao na zemlju. Iskre nastale rezanjem krova su tog dana prouzročile požar na travi koja je okruživala sabirni prostor spremnika, ali ga je radnik koji je upravljao dizalicom brзом reakcijom uspio ugasiti sa crijevom za polijevanje okolnog raslinja. Kako su ostali bez kisika potrebnog za plamenik,

³⁴ *Chemical Safety and Hazard Investigation Board* – Odbor za istraživanje kemijske sigurnosti i opasnosti, neovisna je agencija američke vlade zadužena za istraživanje uzroka slučajeva nesreća u kemijskoj i naftnoj industriji.

radnici su prekinuli s poslom za taj dan. Glavni mehaničar je odmah naručio novu bocu s kisikom kako bi mogli nastaviti s poslom sljedeći dan [20].

U srijedu, 11. siječnja 2006. godine, trojica radnika³⁵ su nastavila s radovima na krovu iznad spremnika. Oko 11 sati i 15 minuta, glavni mehaničar i novi radnik su **rezali krov na mjestu točno iznad odušne cijevi koja se nalazila na spremniku s metanolom. Iskre, koje su nastajale prilikom rezanja krova, su zapalile smjesu para metanola sa zrakom koja je isparavala iz odušne cijevi, što je uzrokovalo stvaranje vatrene kugle na vrhu spremnika. Vatra je zatim probila kroz hvatač plamena koji je bio ugrađen na odušnoj cijevi i zapalila smjesu unutar spremnika, stvorivši tako eksploziju unutar spremnika** [20].



Slika 28: Izgled mjesta nesreće nakon intervencije [20].

Eksplozija koja se stvorila unutar čeličnog spremnika metanola je:

- trajno deformirala spremnik tako što je svojim brizantnim djelovanjem napravila ispuščenje na dnu spremnika i podigla zid sabirnog prostora za oko 30 cm;
- snažnim fugasnim djelovanjem iz matica istrgnula 6 vijaka koji služe za pričvršćivanje spremnika s betonskom podlogom;
- izbacila hvatač plamena iz odušne cijevi;
- izbacila uređaj za pokazivanje razine napunjenosti iz prirubnice na vrhu spremnika;
- odvojila dvije cijevi, ventile i priključeni regulator razine iz prirubnica na bočnoj strani spremnika;
- odvojila ispusnu cijev iz ispusnog ventila spremnika i
- odvojila cijev za punjenje koja je bila priključena na vrh spremnika [20].

³⁵ Trojica radnika uključuju glavnog mehaničara i mehaničara koji su radili 9. i 10. siječnja 2006. godine, te novog radnika koji je zamijenio onog radnika koji je upravljao dizalicom prethodnog dana.

Metanol se zatim pod djelovanjem nadtlaka eksplozije izlio kroz puknute cijevi i pare su se istog trena zapalile. Dio se također izlio i u sabirni prostor oko spremnika i tako je putem odvodnje završio u pogonu gdje je zatim bio pročišćen i bezopasno obrađen [20].

Glavni mehaničar i novi radnik su se u trenutku izbijanja požara nalazili u hidrauličnoj radnoj košari točno iznad spremnika, gdje su vjerojatno bili zahvaćeni vatrenom kuglom i gorećom smjesom para metanola i zraka koja se pod djelovanjem nadtlaka oslobađala kroz odušnu cijev. Glavni mehaničar, koji je bio potpuno zahvaćen vatrom, je vjerojatno iskočio ili ispao iz radne košare jer mu je tijelo nađeno unutar sabirnog prostora spremnika s metanolom [20].

Radnik je izjavio da je bio djelomično izvan radne košare koja se nalazila iznad krova kad je došlo do izbijanja požara, što mu je omogućilo da dospije na krov i pobjegne kad se požar proširio. Suradnici, koji nisu bili u mogućnosti dospjeti do njega koristeći ljestve, su mu rekli da skoči na niži susjedni krov, a zatim na tlo. Pretrpio je tjelesne opekline drugog i trećeg stupnja po skoro čitavom tijelu i bio hospitaliziran na četiri mjeseca, nakon čega je bio poslan u ustanovu za medicinsku rehabilitaciju [20].

Goreća smjesa se kroz puknute cijevi raspršila i na dizalicu i zahvatila kabinu u kojoj se nalazio mehaničar. Prije nego što je uspio napustiti kabinu, pri čemu su mu pomagali suradnici, već je bio u potpunosti zahvaćen vatrom. Preminuo je u bolnici sljedećeg dana [20].

5.2.2 Stručni nalaz vještaka za utvrđivanje uzroka, uvjeta i okolnosti nastanka požara i eksplozije

5.2.2.1 Oprema nadzemnog spremnika s metanolom

Kompanija *CDM*³⁶, koja je projektirala sustav za skladištenje metanola, je odredila da će **oprema nadzemnih i podzemnih spremnika za skladištenje metanola biti izrađena od polivinil klorida (PVC-a)** [20].

Oprema nadzemnog spremnika s metanolom se sastojala od (vidi sliku 29):

- jedne cijevi za punjenje spremnika nazivnog promjera (DN³⁷) od 100 mm, koja je povezivala prirubnicu na vrhu spremnika s izvorom punjenja na razini tla;
- jedne ispusne cijevi nazivnog promjera od 100 mm, spojene na ventil prirubnice pri dnu spremnika, koja je opskrbljivala kemijske pumpe;
- dvije cijevi nazivnog promjera od 25 mm i pripadajuće ventile od PVC-a, koje su služile za spajanje regulatora razine na dvije prirubnice pri dnu spremnika i
- jedne odušne cijevi nazivnog promjera od 100 mm (na kojoj je bio ugrađen hvatač plamena), spojene na prirubnicu na vrhu spremnika. Hvatač plamena je na odušnu cijev bio spojen preko navoja [20].

³⁶ *Camp Dresser & McKee Inc.* – multinacionalna savjetodavna, inženjering i građevinska kompanija specijalizirana za upravljanje vodama.

³⁷ Diamètre Nominal – osnova za standardizaciju cijevi koja označava promjer cijevi i cijevnih elemenata.

5.2.2.2 Standardi i tehničke specifikacije cjevovoda u sustavima sa zapaljivim kapljevinama

U projektu *CDM-a* je bilo navedeno da će pogon „biti nadograđen u skladu sa svim primjenjivim pravilima i zahtjevima koji su propisani od strane *OSHA* (engl. *Occupational Safety and Health Administration*³⁸). Prema tome, **OSHA standard 1910.106 za „Zapaljive i gorive kapljevine“** (u kojem je navedeno da **sva oprema pri nadzemnim spremnicima sa zapaljivim kapljevinama mora biti izrađena od čelika ili lijevanog željeza**), je trebao biti uzet u obzir prilikom izrade projekta. Čelične cijevi imaju više od deset puta veću čvrstoću i otpornost na lom nego li cijevi izrađene od PVC-a [20].

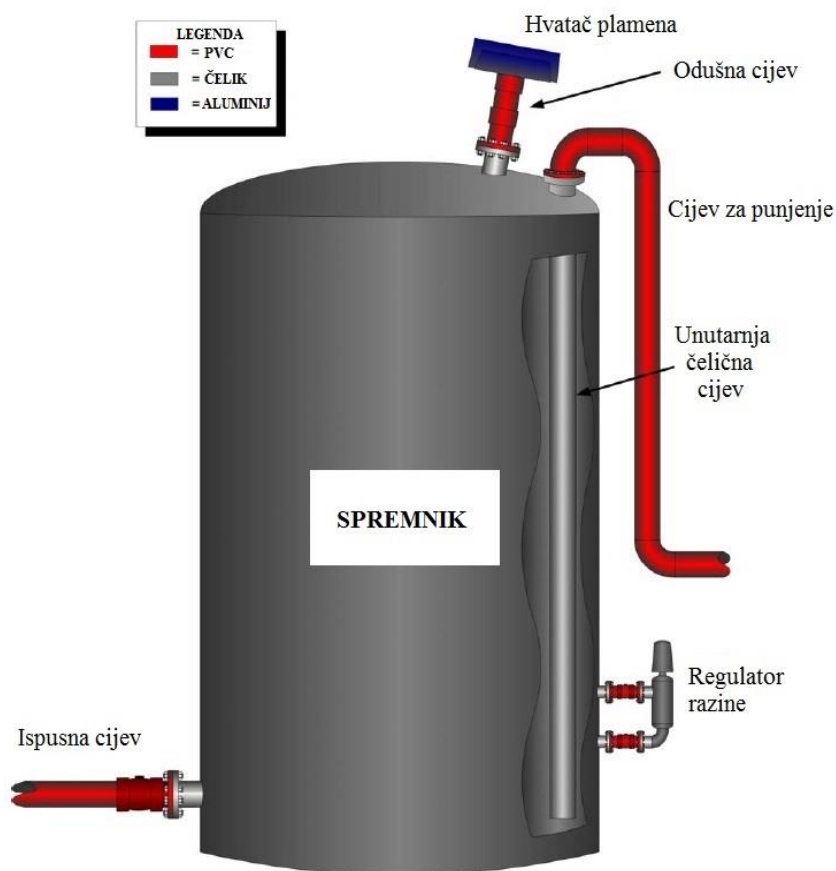
OSHA standard 1910.106 dopušta upotrebu materijala koji nije vatrootporan, ali samo ako je to „**nužno potrebno**“. *CDM* je izjavio da su odabrali opremu od PVC-a zbog njezine kompatibilnosti s metanolom i zbog toga što može izdržati radni tlak koji se koristi u sustavu. Prema podacima o koroziji i njenom djelovanju na materijale, *CSB* je napomenuo da je čelik kompatibilan (inertan) s metanolom (metanol ne djeluje korozivno na čelik), da se čelični cjevovodi koriste u svim sustavima sa zapaljivim kapljevinama i da je nadzemni spremnik kojeg je odredio *CDM* bio izrađen od čelika. *CSB* je iz toga zaključio da nije bilo potrebe koristiti cijevi izrađene od PVC-a [20].

Zahtjevi za nadzemni spremnik kojeg je odobrio *CDM* su bili u skladu sa zahtjevima **NFPA³⁹ 30, Kodeksom za zapaljive i gorive kapljevine** (iz 1990. godine). U zahtjevima je također navedeno da **svi ventili ugrađeni na spremnik moraju biti izrađeni od čelika**. Unatoč tome, *CDM* je obavijestio *IRIC* (graditelja pogona) da se na sustav spremnika mogu ugraditi ventili izrađeni od PVC-a [20].

Iako standardi *NFPA 30* i *OSHA 1910.106* dopuštaju korištenje plastičnih materijala na nadzemnim spremnicima sa zapaljivim kapljevinama pod određenim uvjetima, drugi široko poznati standardi ih strogo zabranjuju [20].

³⁸ Američka Uprava za zaštitu na radu i zaštitu zdravlja.

³⁹ *National Fire Protection Association* – američko „Nacionalno udruženje za zaštitu od požara“. *NFPA* standardi su već odavna najcjelovitiji izvor znanja za područje zaštite od požara i vatrogastva u svijetu.



Slika 29: Nadzemni spremnik s opremom [20].

5.2.2.3 Kvar na cjevovodu

Materijalni tragovi na pronađenim predmetima koji mogu poslužiti kao sudski dokaz ukazuju na to da su PVC cijevi priključene na spremnik s metanolom otkazale i odvojile se na više mjesta zbog savijanja stjenki spremnika koje je bilo uzrokovano unutarnjom eksplozijom. Mogući dokazni materijal čine:

- trag na bočnoj strani spremnika, koji je vjerojatno nastao kada se metanol, pod pritiskom eksplozije unutar spremnika, potisnut kroz unutarnju cijev, razlio putem otkinute cijevi za punjenje;
- trag na tlu istočno od spremnika, koji je vjerojatno nastao tako što je eksplozija unutar spremnika potisnula metanol kroz oštećenu ispusnu cijev pri dnu spremnika;
- dva ventila izrađena od PVC-a i dio pripadajuće cijevi, nađeni u sabirnom prostoru spremnika. Ovi ventili i njihova pripadajuća PVC cijev i priрубnice su bili priključeni između čeličnih priрубnica na spremniku i čeličnih priрубnica na regulatoru razine (vidi sliku 30);
- ostatak materijala PVC odušne cijevi uvijene u navoj hvatača plamena i vidljiva oštećenja navoja na njenim rubovima [20].

Dvije puknute PVC cijevi spojene na regulator razine su bile usmjerene točno u smjeru mjesta na kojem se nalazila kabina dizalice s mehaničarom unutra. Metanol, koji je istjecao pod pritiskom, se vjerojatno raspršivao po kabini, pare su se zapalile i mehaničaru unutar kabine nanijele teške tjelesne opekline (vidi sliku 31) [20].

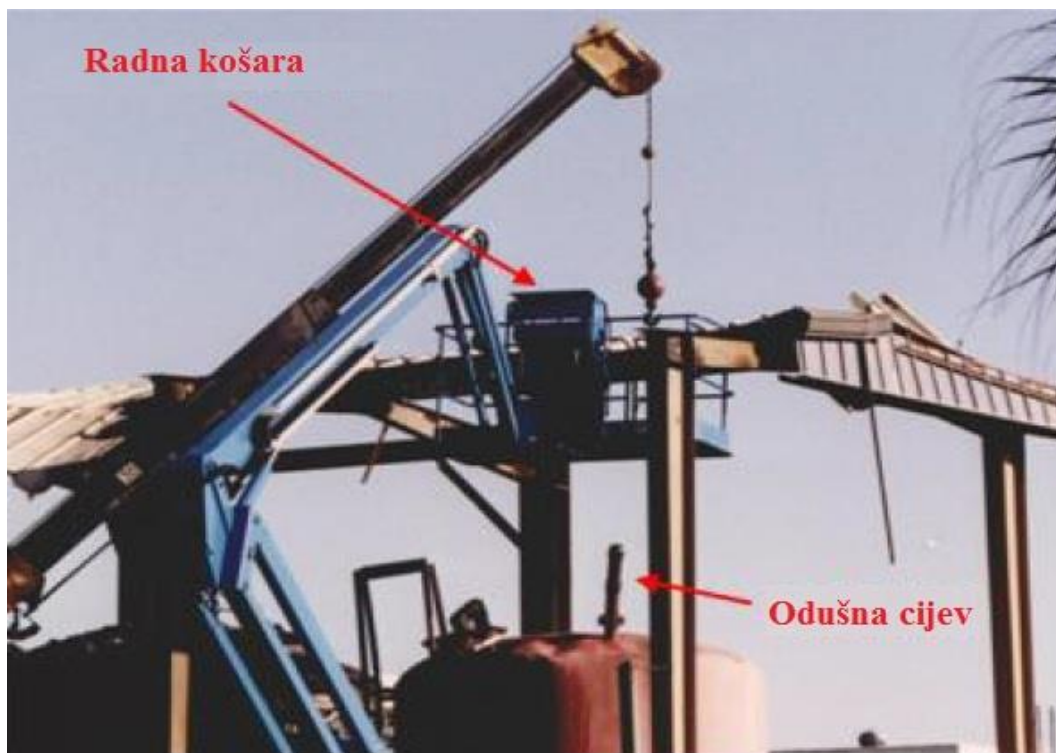


Slika 30: Dio otkinute PVC cijevi koja je spajala regulator razine s prirubnicama spremnika [20].



Slika 31: Prikaz smjera strujanja metanola iz spremnika na kabinu dizalice [20].

Odušna cijev od PVC-a se nalazila ispod hidraulične radne košare. U trenutku kada je nadtlak eksplozije izbacio hvatač plamena iz odušne cijevi, goruće pare metanola su zahvatile košaru u kojoj su se nalazila dvojica radnika.



Slika 32: Položaj radne košare i odušne cijevi [20].

Da su ugrađene cijevi i cijevna oprema bili izrađeni od čelika, sustav bi vrlo vjerojatno ostao čitav. Mehaničar u dizalici vjerojatno ne bi poginuo, a druga dvojica ne bi bila tako teško ozlijeđena [20].

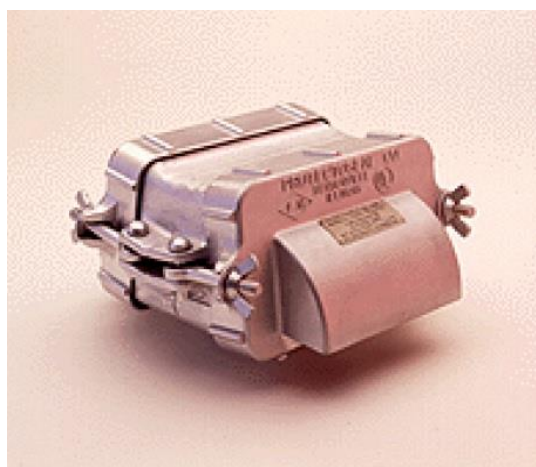
5.2.2.4 Hvatač plamena

Hvatači plamena su naprave koje sprječavaju prolaz plamena iz jednog u drugi prostor ili ga zadržavaju da ne izađe van ili ne prodre u njega te istodobno omogućavaju plinovima i parama neometano strujanje. Njihovo zaštitno djelovanje se zasniva na razbijanju plamena na metalnim pločicama (mrežicama ili sličnom propusnom materijalu) u hvataču plamena na sitne plamičke koji se potom gase zbog ohlađenja u dodiru s hladnim pločicama i tako odvede ili apsorbiraju toplinu plamena do ohlađenja ispod temperature samopaljenja izgarajućeg plina/pare [12].

Neki vrlo važni opći uvjeti koje moraju ispunjavati hvatači plamena su:

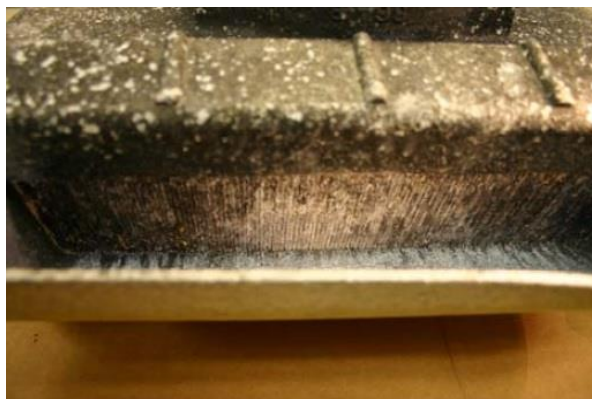
- **materijal za njihovu izradu** (kako eventualnog kompaktnog kućišta tako i materijala koji se planira rabiti za apsorpiranje topline plamena u slučaju eventualne eksplozije) **mora biti posve inertan na plinove i pare s kojima se radi u postrojenju**;
- **duljina puta** (debljina gasećeg sloja, npr. visina sloja kapljevine ili duljina cjevčica/ploča) duž kojeg se mora hlađenjem uspješno presjeći dalje širenje plamena **mora se unaprijed utvrditi** (preporučaju se najmanje 3 mjerenja u ovlaštenom laboratoriju za takva ispitivanja);
- **kritični (najmanji) promjer cjevčica ili okanaca mrežice ili kritični razmak između ploča**, koji dalje (ako je još manji) više ne propušta plamen, također treba prije izrade/nabave i ugradnje hvatača plamena odrediti (to se odnosi čak i na veličinu mjehurića/brzinu strujanja plina kroz tzv. „hidraulični hvatač plamena“);
- **otpor protoku plinovitog fluida** kroz hvatač plamena (pad tlaka na njemu) mora **biti tehnološki prihvatljiv** [12].

Na odušnu cijev spremnika s metanolom je bio ugrađen hvatač plamena u skladu sa zahtjevima kodeksa NFPA 30, *Protectoseal Model No. 864*. Kako je odušna cijev na spremniku bila stalno otvorena, pare su strujale kroz hvatač plamena bilo kad se spremnik punio, zagrijavao, hladio ili ispuštao [20].



Slika 33: Hvatač plamena Protectoseal Model No. 864 [20].

Kućište hvatača plamena i pločice unutar njega su bili izrađeni od aluminija. Prema podacima o koroziji i njenom djelovanju na materijale, poznato je da **metanol nagriza aluminij** (aluminij nije inertan na pare metanola). Unutrašnjost hvatača plamena je bila teško korodirana, ispunjena hrđom a neke pločice čak nisu bile čitave (vidi slike 34 i 35). **Tragovi korozije su ukazivali na to da su pločice najvjerojatnije bile oštećene i prije nego što je došlo do eksplozije** [20].



Slika 34: Metalne pločice hvatača plamena (izvana) [20].



Slika 35: Metalne pločice hvatača plamena (iznutra) [20].

Predstavnici *IRIC-a*, *CDM-a* i Grada Daytona Beach su ukazali da je potreba za ugradnjom hvatača plamena uviđena tek kasnije u projektu. *IRIC* je za ugradnju predložio tri modela, kojima je i kućište i unutrašnjost bila izrađena od aluminija. *CDM* je odabrao *Protectoseal Model 864* zbog toga što je bio odmah dostupan. Iako *Protectoseal* nudi hvatače plamena napravljene od materijala koji je inertan na metanol, nijedan od takvih nije bio razmotren [20].

Hvatači plamena zahtijevaju redovitu inspekciju i održavanje (čišćenje) kako bi ispravno funkcionirali. Prašina i čestice koje se skupljaju između pločica, insekti koji se znaju zavući u kućište hvatača plamena i korozija negativno utječu na njegovu funkcionalnost. Redovitim inspekcijama se može prepoznati dolazi li do ubrzanog korodiranja. Kada je pogon pušten u rad 1993. godine, i *Protectoseal* i proizvođač metanola su nitalagali redovito održavanje i inspekcije hvatača plamena. Međutim, u dokumentaciji kojom je *CDM* opskrbljivao Grad to nije bilo navedeno. Razgovori s osobljem pogona su pokazali da nisu bili obaviješteni da je hvatač plamena bilo potrebno redovito ispitivati i održavati [20].

CSB je zaključio da hvatač plamena nije spriječio ulazak plamena unutar spremnika. Korozija, koja je nastajala tijekom više od 12 godina, bi se otkrila redovitim pregledima hvatača plamena. Upotreba aluminijskog hvatača plamena u sustavu s metanolom, povezana s nedostatkom redovitih pregleda i održavanja, je dovela do toga da je hvatač plamena korodirao do tolike mjere da više nije bio upotrebljiv [20].

5.2.3 Kritička raščlamba stručnog nalaza i mišljenja vještaka

Nakon završene istrage, kritičkom raščlambom stručnog nalaza i mišljenja vještaka utvrđeno je da je do požara i eksplozije na spremniku s metanolom te do smrtnog stradavanja dvojice radnika došlo zbog toga što:

- Grad Daytona Beach **nije imao pisanih procedura za rad na siguran način prilikom izvođenja radova s pregrijanim tvarima i predmetima** (u ovom slučaju izvođenje autogenog rezanja s pomoću acetilena ili vodika i O₂, čije iskre vrlo lako/uspješno pale (pripaljuju) zapaljive/eksplozivne smjese (skoro) svih gorivih plinova, para i prašina sa zrakom) te **zakonski nije zahtijevao izradu planova aktivnosti pri izvođenju izvanrednih radova** kojima bi se mogla procijeniti sigurnost izvođenja takvih radova;
- radnici tvrtke **nisu prošli kroz nikakvo osposobljavanje za sigurno postupanje** u slučaju izbijanja opasnosti s opasnim tvarima i kemikalijama;
- OSHA standard 1910.106 za „Zapaljive i gorive kapljive“ je **dozvoljavao ugradnju plastičnih materijala u sustave cjevovoda za zapaljive kapljive** kada je to „nužno potrebno“, **ali nije bilo konkretno definirano kada i pod kojim uvjetima**;
- je **IRIC na spremnik dopustio ugradnju plastičnih ventila i ostalih priključaka** unatoč tome što je to prema NFPA 30 „Kodeksu za zapaljive i gorive kapljive“ strogo zabranjeno;
- je došlo do **zakazivanja hvatača plamena**, što je bila posljedica:
 - nedostatka informacija o održavanju hvatača plamena u korisničkom priručniku i dokumentaciji,
 - nekompatibilnosti materijala (aluminij) od kojega je hvatač plamena bio izrađen s metanolom,
 - neprovjeravanja hvatača plamena od onoga dana kada je bio prvotno ugrađen (1993. godine) i
 - korodiranja unutarnjih pločica do tolike mjere da je hvatač plamena postao potpuno neupotrebljiv;
- na razini savezne države Floride **nisu postojale nikakve zakonske odredbe** kojima bi se tražilo:
 - obavezno **osposobljavanje radnika za rad na siguran način** i
 - obavezno **osposobljavanje za sigurno postupanje u slučaju izbijanja opasnosti s opasnim tvarima i kemikalijama**;
- **općine savezne države Floride nisu bile podložne standardima koje propisuje OSHA** i
- u saveznoj državi Floride **nije postojalo nadležno tijelo zaduženo za sigurnost i zaštitu zdravlja na radu radnika zaposlenih u javnom sektoru** [20].

Na temelju ovih istražno utvrđenih propusta i prepoznatih istražnih rješenja CSB je izradio niz prijedloga za poboljšanje sustava sigurnosti i zaštite kako bi se u budućnosti spriječile nesreće ovakve ili slične naravi. O prijedlozima su obaviještene sve strane koje su (što direktno, što indirektno) bile uključene u ovaj incident te sva ona tijela i organizacije koji mogu utjecati na sprječavanje industrijskih nesreća i daljnji razvoj sigurnosti i zaštite u ovome području [20].

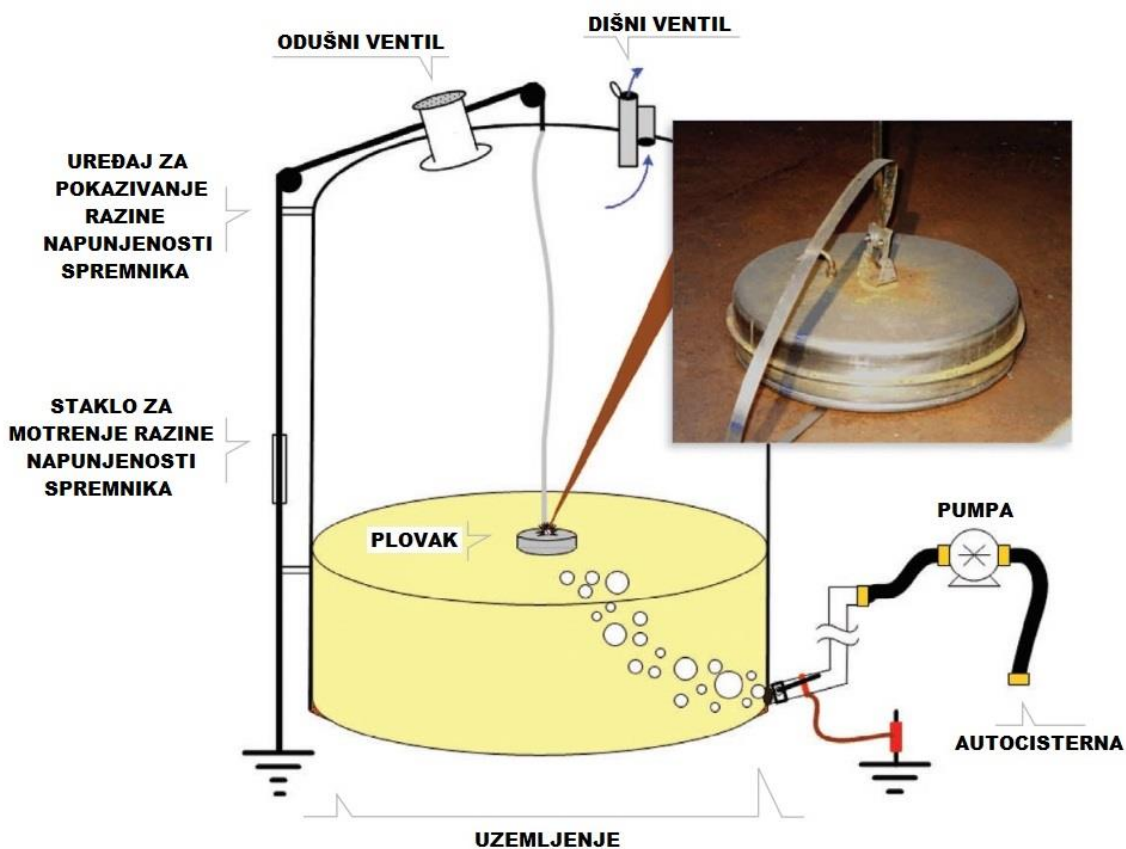
5.3 Eksplozija spremnika u kemijskom postrojenju „Barton Solvents Inc.“

Nije neuobičajeno da uzrok požara i eksplozije bude i naročito opasno izbijanje statičkog elektriciteta, kakvo je 17. srpnja 2007. godine pogodilo kemijsko postrojenje tvrtke „Barton Solvents Inc.“ u američkom gradu Valley Center, savezna država Kansas. Liječničku pomoć je bilo primorano tražiti 11 građana i jedan vatrogasac. Zbog ove velike nesreće je morao biti evakuiran čitav grad s više od 6.000 stanovnika. Eksplozije i požari su poharali čitavo postrojenje sa spremnicima i ozbiljno narušili daljnje poslovanje tvrtke [19].

Nakon istrage koju je proveo američki CSB ustanovljeno je da je do inicijalne pojave eksplozije došlo pri punjenju nadzemnog spremnika sa otapalom, tzv. „Varnish Makers and Painters“ (VM&P) *naphtha*, zapaljivom kapljevinom na bazi nafte koja se koristi kao razrjeđivač boja i lakova. Ovo otapalo je izrazito hlapljivo, a zbog svoje niske električne vodljivosti je u stanju akumulirati opasne količine statičkog elektriciteta [19].

5.3.1 Faktografska rekonstrukcija slijeda zbivanja

Do izbijanja prve eksplozije je došlo ubrzo nakon što je nadzornik postrojenja počeo s pretakanjem otapala iz autocisterne u nadzemni spremnik čija je zapremnina iznosila 57.000 litara (vidi sliku 36) [19].



Slika 36: Spremnik s otapalom i fotografija primjerka plovka [19].

Žestina eksplozije je spremnik doslovce „raketirala“ u zrak, koji je pritom iza sebe ostavljao trag gustog oblaka dima i vatre izgarajuće kapljevine, a sletio je na udaljenosti od oko 40 metara od mjesta na kojem je bio postavljen. Očevici su mogli čuti eksploziju i opaziti nastanak „vatrene kugle“ na udaljenostima od čak nekoliko kilometara. Ubrzo nakon toga su uslijedile eksplozije na još dva susjedna spremnika čiji se sadržaj izlio u sabirni prostor koji je okruživao čitavo postrojenje. Požar je uglavnom bio koncentriran u tom području, a sadržaj u ostalim spremnicima je pod utjecajem visokih okolnih temperatura uzrokovao opasno stvaranje nadtlaka nakon kojega je došlo do daljnjih eksplozija spremnika i odljetanja njihovih dijelova u okolicu. Gornji dio spremnika se na udaljenosti od oko 90 metara zabio u jednu mobilnu kuću (vidi sliku 37), a dišni ventil je nađen na zemljištu susjednog poslovnog subjekta na udaljenosti od oko 120 metara (vidi sliku 38) [19].



Slika 37 (lijevo): Mjesto zabijanja dijela oplata spremnika u mobilnu kuću [19].

Slika 38 (desno): Mjesto pronalaska dišnog ventila na udaljenosti od oko 120 metara [19].

U sabirni prostor koji je okruživao postrojenje se sveukupno izlilo oko 75.000 litara zapaljivih kapljevina. Na postrojenju su se ukupno nalazila 43 spremnika, čije su zapremnine iznosile od 11.000 do 75.000 litara. Visine spremnika kretale su se od 4,5 do 12 metara [19].

5.3.2 Stručni nalaz vještaka za utvrđivanje uzroka, uvjeta i okolnosti nastanka požara i eksplozije

CSB je nakon istrage utvrdio da je do nastanka eksplozije došlo prilikom kombinacije sljedećih nekoliko čimbenika:

- u gornjem dijelu spremnika je došlo do stvaranja zapaljive i eksplozivne smjese para otapala sa zrakom;
- na početku punjenja spremnika je došlo do istiskivanja zraka iz cijevi, a unutar spremnika su se vjerojatno nalazili talog i voda, što je pogodovalo akumuliranju statičkog elektriciteta;
- u spremniku se nalazio plovak uređaja za mjerenje razine napunjenosti spremnika sa olabavljenim dijelovima, čije je trenje prilikom punjenja vjerojatno stvorilo iskru dovoljne količine energije i dovoljno visoke temperature za zapaljenje stvorene zapaljive i eksplozivne smjese;
- u *Sigurnosno-tehničkom listu* nije bilo adekvatno opisano kako pare ove zapaljive kapljvine tvore opasnost/rizik od mogućeg zapaljenja i eksplozije [19].

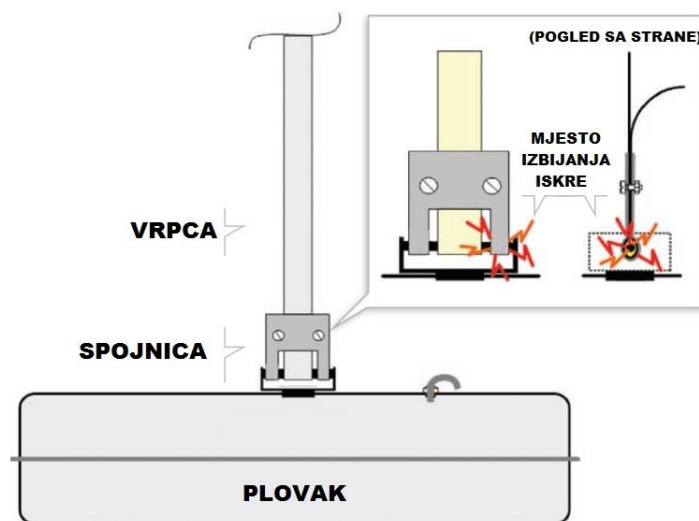
5.3.2.1 Zapaljivost otapala „*VM&P naphtha*“

CSB je nakon incidenta istražio požarne opasnosti otapala „*VM&P naphtha*“ kako bi utvrdio je li njegovo isparavanje moglo stvoriti zapaljivu i eksplozivnu smjesu sa zrakom unutar spremnika. Rezultati su pokazali da je prilikom punjenja spremnika temperatura okolne atmosfere iznosila 25 °C i da se u tom trenutku unutar spremnika već nalazila dovoljna količina smjese koja je bila spremna za zapaljenje. Iskra koja je izbila akumuliranjem statičkog elektriciteta je bila dovoljne jakosti kao izvor energije paljenja⁴⁰ [19].

5.3.2.2 Plovak uređaja za mjerenje razine napunjenosti spremnika

Dizajn plovka uređaja za mjerenje razine napunjenosti spremnika kakav se koristio u kemijskom postrojenju „*Barton Solvents Inc.*“ sadrži olabavljeni spoj između tijela plovka i vrpce na kojoj plovak visi. Na tom spoju je dolazilo do laganog odvajanja, što je prekidalo uzemljenje sustava i tako otvaralo mogućnost za izbijanje iskri statičkog elektriciteta (vidi sliku 39). CSB je zaključio da su turbulencije prilikom uključivanja pumpe u rad i strujanje zapaljive kapljvine, uz akumuliranje opasnih količina statičkog elektriciteta, vrlo vjerojatno uzrokovali trenje na spoju i time doveli do izbijanja statičke iskre [19].

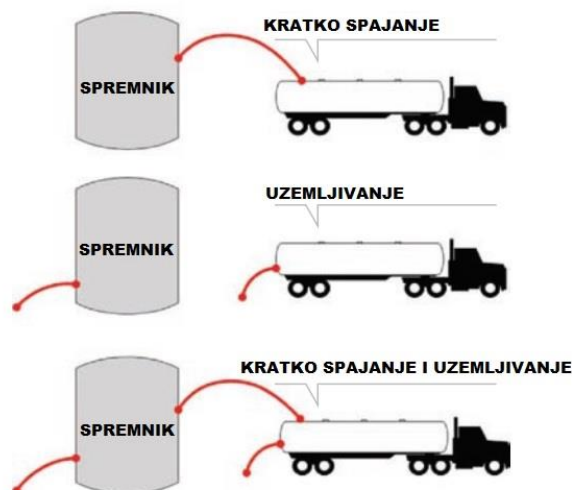
⁴⁰ CSB je procijenio da je najmanja količina energije statičke iskre, koja je bila potrebna za zapaljenje otapala „*VM&P naphtha*“ korištenog u „*Barton Solvents Inc.*“, iznosila 0,22 mJ (+/- 0,02 mJ).



Slika 39: Spojno mjesto tijela plovka s vrpcom i mjesto izbijanja iskre statičkog elektriciteta [19].

5.3.2.3 Kratko spajanje i uzemljivanje

Kratko spajanje je proces povezivanja vodljivih dijelova i/ili tijela radi izjednačavanja njihovih potencijala i sprječavanja nastanka iskrenja (vidi sliku 40) [19].



Slika 40: Uzemljivanje i kratko spajanje [19].

Uzemljivanje znači povezivanje vodljivih dijelova i/ili tijela sa zemljom radi odvođenja elektriciteta (statički elektricitet, atmosferska izbijanja, kratki spoj i sl.) u zemlju zbog sigurnosti i zaštite zdravlja zaposlenika i zaštite uređaja te zbog sprječavanja zapaljenja zapaljivih i eksplozivnih smjesa para/plinova zapaljivih tekućina sa zrakom [19].

Prema izjavama svjedoka koji su se zatekli na mjestu događaja, autocisterna, pumpa, cjevovodi i spremnik su bili kratko spojeni i uzemljeni prema propisanim pravilima, ali crijevo korišteno pri pretakanju požar je oštetio u tolikoj mjeri da je bilo nemoguće utvrditi je li bilo ispravno spojeno i uzemljeno prilikom punjenja spremnika. Takav način uzemljenja i kratkog spajanja kakav je bio primijenjen u kemijskom postrojenju „*Barton Solvents Inc.*“ se odnosi samo na uobičajene postupke pri pretakanju većine zapaljivih kapljevina - pri pretakanju i skladištenju zapaljivih kapljevina niske električne vodljivosti potrebno je poduzeti dodatne mjere opreza (vidi potpoglavlje 5.3.3) [19].

5.3.2.4 Akumuliranje statičkog elektriciteta

Otapalo „*VM&P naphtha*“ se pretakalo u spremnik iz autocisterne čiji se spremnik sastojao od tri pregrađena odjeljka. Crijevo korišteno pri pretakanju se, nakon što se pretočio sav sadržaj iz prvog odjeljka, moralo prebaciti u drugi i nakon toga u treći, prilikom čega je u njemu dolazilo do nakupljanja zraka. Taj zrak je nakon svakog ponovnog uključivanja pumpe u rad bio tlačen u spremnik prije nego što se crijevo u potpunosti napunilo otapalom. Ranija istraživanja su pokazala da pri svakom pokretanju pumpe dolazi do ubrzanijeg akumuliranja statičkog elektriciteta, a posebice pri pretakanju zapaljivih kapljevina niske električne vodljivosti. U ovome slučaju, akumuliranje statičkog elektriciteta dodatno je pospješilo i stvaranje „zračnih mjehurića“ i vjerojatna prisutnost taloga i vode u spremniku⁴¹. K tome je još bitno napomenuti i da je u trenutku kada je došlo do eksplozije spremnik bio napunjen na približno 30%, čime se na površini zapaljive kapljevine postigla skoro maksimalna vrijednost električnog naboja koja se mogla očekivati u ovome slučaju [19].

5.3.2.5 Sigurnosno-tehnički list otapala „*VM&P naphtha*“

Tehnička dokumentacija koju je uz otapalo „*VM&P naphtha*“ proizvođač isporučivao kemijskom postrojenju „*Barton Solvents Inc.*“ nije sadržavala informacije o kritičnim fizikalnim i kemijskim svojstvima, poput onoga da je otapalo podložno isparavanju i stvaranju zapaljive i eksplozivne smjese sa zrakom unutar spremnika. Isto tako, u dokumentaciji nije bilo naznačeno kako se radi o izrazito opasnoj zapaljivoj kapljevini koja je sklona akumuliranju opasnih količina statičkog elektriciteta, te kako je uz pravilno kratko spajanje i uzemljenje vodljivih dijelova potrebno poduzeti i dodatne mjere zaštite [19].

⁴¹ U kemijskom postrojenju „*Barton Solvents Inc.*“ nije bilo nikakvih pisanih zapisa o tome da je spremnik s otapalom „*VM&P naphtha*“ ikad bio očišćen, niti je spremnik imao ugrađen otvor za ulaz i čišćenje unutrašnjosti. Prema izjavama zaposlenika, slične spremnike u postrojenju se čistilo na način da se samo pokupio talog sa dna spremnika, i to uglavnom prije najavljenih inspekcija.

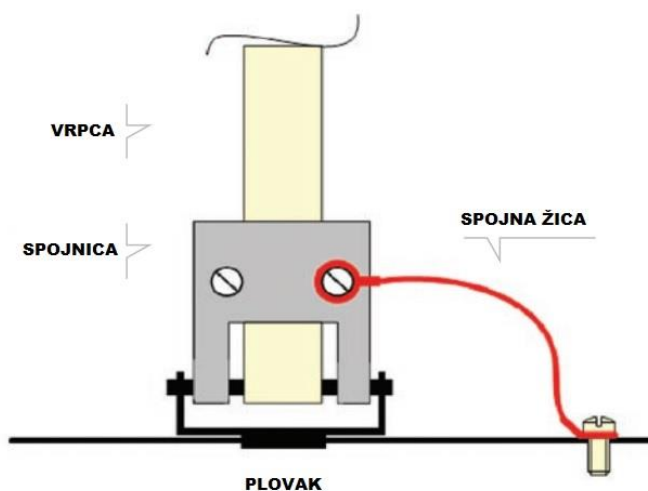
5.3.3 Kritička raščlamba stručnog nalaza i mišljenja vještaka

Radi sprječavanja nastanka novih incidenata poput ovoga, u postrojenjima u kojima se rukuje sa zapaljivim kapljevinama niske električne vodljivosti (kao što su „*VM&P naphtha*“, cikloheksan, n-heptan, benzen, toluen, n-heksan, ksilen, etilbenzen, stiren) potrebno je poduzeti dodatne mjere opreza, a to uključuje:

- dodatno informiranje o sigurnom postupanju sa zapaljivom kapljevom od strane proizvođača,
- inertiziranje prostora spremnika s inertnim plinom (npr. dušikom),
- preinačiti ili zamijeniti labave dijelove naprava koje se koriste u sustavu sa spremnicima (vidi sliku 41),
- dodavanje antistatičkih sredstava u zapaljivu kapljevinu,
- smanjenje brzine protjecanja zapaljivih kapljevina kroz sustav prilikom punjenja i pražnjenja spremnika [19].

Kao što je već spomenuto, *Sigurnosno-tehnički listovi* obično ne sadrže informacije o provedenim ispitivanjima opasnih tvari na električnu vodljivost ili koje se dodatne mjere opreza moraju poduzeti prilikom rukovanja s njima. Konkretno, **popratna dokumentacija u ovome slučaju nije sadržavala specifične smjernice kojih se treba pridržavati kako ne bi došlo do opasnosti od akumuliranja statičkog elektriciteta i nastajanja zapaljivih i eksplozivnih smjesa sa zrakom**. Stoga, kako bi se utvrdilo da li je potrebno poduzimati dodatne mjere opreza kako bi se otklonile sve potencijalne opasnosti od mogućeg nastanka požara i/ili eksplozije, sva postrojenja u kojima se rukuje sa zapaljivim kapljevinama bi trebala kontaktirati proizvođače (ili kvalificirane stručnjake) kako bi bili upoznati s činjenicama da li je zapaljiva kapljevina:

- električki nevodljiva (sklona akumuliranju statičkog elektriciteta) i
- sklona isparavanju unutar zatvorenog spremnika (gdje nastaje zapaljiva i eksplozivna smjesa sa zrakom) [19].



Slika 41: Preinaka koja je trebala biti poduzeta na plovku unutar spremnika s otapalom „*VM&P naphtha*“ (ilustrativni primjer preporuke proizvođača plovaka koji su se koristili u kemijskom postrojenju „*Barton Solvents Inc.*“) [19].

Ako se pravilno primjenjuju, inertni plinovi (kao što je dušik) su vrlo učinkoviti pri inertiziranju zračnih prostora spremnika, čime se uvelike smanjuje vjerojatnost nastanka eksplozije (i popratnog požara). Primjena ovih plinova unutar spremnika stvara atmosferu sa smanjenim koncentracijama kisika, stoga je osoblje koje vrši preglede i održavanja spremnika obavezno držati se propisanih mjera zaštite za rad u takvim prostorima. Naravno, prije svake uporabe takvog plina radi inertiziranja zračnog prostora u spremnicima sa zapaljivim kapljevinama, nužno je utvrditi je li plin koji se namjerava koristiti u te svrhe prikladan za kapljevinu kojoj je namijenjen [19].

Postrojenja sa spremnicima u kojima prijeti opasnost od nastajanja zapaljivih i eksplozivnih smjesa sa zrakom i u koje su ugrađene vodljive naprave za mjerenje razine napunjenosti s labavim dijelovima bi trebala poduzeti jednu od sljedećih zaštitnih mjera:

- **primjenjivati odgovarajući inertni plin;**
- **po potrebi pregledati i zamijeniti naprave za mjerenje razine napunjenosti s onima koje neće uzrokovati iskrenje;**
- **preinačiti plovak tako da je pravilno spojen i uzemljen** (vidi sliku 41);
- **smanjiti brzinu protjecanja zapaljive kapljevine kroz sustav**⁴²;
- **ukloniti svaku labavost na mjestima gdje je plovak spojen s vrpcom**, jer upravo na tim mjestima prijeti najveća opasnost od formiranja iskre [19].

Antistatici su tvari koje sprječavaju ili smanjuju stvaranje elektrostatičkog naboja na površini materijala koji djeluje kao izolator. **Mogu se primjenjivati kao aditivi koji se dodaju u zapaljive kapljevine radi povećanja njihove električne vodljivosti.** Prije primjene isključivo ovakve mjere zaštite, postrojenja bi također trebala tražiti dodatne informacije od proizvođača takvih tvari (ili mišljenja stručnjaka) kako bi se utvrdilo s kojom zapaljivom kapljevinom je koji aditiv kompatibilan [19].

Samo tri mjeseca nakon izbijanja ovoga događaja, sličan incident dogodio se 29. listopada 2007. godine u gradu Des Moines u saveznoj državi Iowa - u postrojenju istoimene tvrtke i također zbog izbijanja statičkoga elektriciteta prilikom nepravilnog punjenja spremnika etil-acetatom.

⁴² Preporučuje se brzina protjecanja od 1 m/s sve dok prijeti visoka opasnost od iskrenja statičkog elektriciteta [19].

6. ZAKLJUČAK

Iako se tehnologija razvija iz razloga kako bi se uporabom različitih alata, strojeva, materijala i procesa olakšalo rješavanje određenih ljudskih zadataka, ona u većini slučajeva nije redovito popraćena i adekvatnom stručnošću i znanjima koje bi trebalo posjedovati svo osoblje zaduženo za nadzor i upravljanje takvim uređajima i opremom. Kao što se može zaključiti na temelju priloženog slučaja eksplozije oblaka para benzina u britanskom naftnom terminalu „*Buncefield*“, kadrovi određenih stručnosti, specijalnosti, osposobljenosti, vještina i motiviranosti jedan su od ključnih faktora na koje se mora obratiti pozornost prilikom uspostave efektivnih sigurnosnih i zaštitnih sustava u svim industrijskim i inim proizvodnim pogonima, jedinicama ili njihovim dijelovima u kojima postoji opasnost nastanka požara i/ili eksplozije, a i drugih opasnosti.

Nedostatak regulativne i nedovoljno razrađene tehničke dokumentacije, izostanak potpunih i nedvosmislenih radnih uputa i naputaka koje radove treba obaviti na način s aspekta kakvoće te tehnološke i radne sigurnosti pokazali su se kobnima za dvojicu radnika tvrtke „*Bethune Point*“. Nakon svakoga takvoga incidenta i provedene istrage nužno je žurno reagirati i aktivno uključiti sve uključene strane na revidiranje cjelokupnog sustava sigurnosti i zaštite kako bi se implementiralo i promicalo novostečena saznanja i spriječilo nastanak novih nesretnih slučajeva.

Ipak, odluka oko toga hoće li se i u kojoj mjeri implementirati i provoditi cjelokupan sigurnosno-zaštitni sustav svakoga postrojenja u kojemu prijeti povećana opasnost od nastanka požara i/ili eksplozije najviše ovisi o njegovoj upravi i menadžmentu. Opravdanja kao što je „*nedostatak financijskih sredstava*“ i/ili „*takvo što se kod nas još nikad nije dogodilo*“ su nažalost još uvijek aktualna, čak i nakon niza naučenih lekcija iz prošlosti. Slučajevi iz prakse obrađeni u ovome Završnome radu jasno daju do znanja kako je cijena pravodobnog i odgovornog postupanja u usporedbi s nastalim ljudskim žrtvama te materijalnim i ekološkim štetama zapravo zanemariva.

Podizanje razine znanja te sigurnosne i (samo)zaštitne svijesti i kulture je (i uvijek će biti) od posebne važnosti za cjelokupnu sigurnost i zaštitu svih onih koji su na bilo koji način uključeni u takav sustav.



Slika 42: Posljedice neodgovornog postupanja menadžmenta postrojenja [12].

7. LITERATURA

- [1] Flash Point – Fuels, *Dostupno na:* http://www.engineeringtoolbox.com/flash-point-fuels-d_937.html, *Pristupio:* 2016-08-05.
- [2] Fluid, *Dostupno na:* <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=19956>, *Pristupio:* 2016-08-03.
- [3] Fuels and Boiling Points, *Dostupno na:* http://www.engineeringtoolbox.com/fuels-boiling-point-d_936.html, *Pristupio:* 2016-08-05.
- [4] Fuels and Chemicals – Auto Ignition Temperatures, *Dostupno na:* http://www.engineeringtoolbox.com/fuels-ignition-temperatures-d_171.html, *Pristupio:* 2016-08-05.
- [5] Gases – Explosion and Flammability Concentration Limits, *Dostupno na:* http://www.engineeringtoolbox.com/explosive-concentration-limits-d_423.html, *Pristupio:* 2016-08-05.
- [6] Health and Safety Executive (HSE): Buncefield: Why did it happen?, *Dostupno na:* <http://www.hse.gov.uk/comah/buncefield/buncefield-report.pdf>, *Pristupio:* 2016-06-28.
- [7] Health and Safety Executive (HSE): The Buncefield Incident 11 December 2005 – The final report of the Major Incident Investigation Board (Volume 1), *Dostupno na:* <http://www.hse.gov.uk/comah/buncefield/miib-final-volume1.pdf>, *Pristupio:* 2016-06-27.
- [8] Kulišić, D.: *Metodika istraživanja požara i eksplozija* (Radna inačica studentskog udžbenika i stručnog priručnika za Kriminalističku policiju), Zagreb: Visoka policijska škola MUP-a RH, ožujka 2004.
- [9] Kulišić, D.: Mjere sigurnosti od terorističkih i inih zlonamjernih ugroza kritične infrastrukture (II. dio), *Sigurnost*, **50** (2008) 4: 343.- 364.
- [10] Kulišić, D.: Neke značajke sabotaža i sabotažama sličnih štetnih događaja, *Policija i sigurnost*, **4** (1995) 3: 152.-167.
- [11] Kulišić, D.: *PowerPoint* prezentacija gradiva iz kolegija *Požari, eksplozije i terorizam*, I.A dio, Zagreb, ožujka 2014.
- [12] Kulišić, D.: *PowerPoint* prezentacija gradiva iz kolegija *Tehnologija sigurnosti i zaštite od požara i eksplozija*, Karlovac, ak. god. 2011./12.
- [13] Kulišić, D.: Sabotaže i diverzije – Opasni klasični, glavni suvremeni i, nažalost, još važniji i pogibeljniji budućni modusi operandi vojnih, civilnih i gospodarstvenih doglasnih službi te terorističkih, gerilskih, pobunjeničkih i kriminalnih ustrojbi, udruga i ekstremnih pojedinaca, *Policija i sigurnost*, **6** (1997) 1-2: 57.-131.
- [14] Pavelić, Đ. i Pavelić, M.: *Procesi gorenja i gašenja*, Autoričina privatna neregulirana naklada, Zagreb, 2011.

- [15] Plin, *Dostupno na:* <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=48736>,
Pristupio: 2016-08-03.
- [16] Pravilnik o zapaljivim tekućinama, *Narodne novine*, br. 54/99.
- [17] Tekućina, *Dostupno na:* <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=60704>,
Pristupio: 2016-08-03.
- [18] Tekućina, *Dostupno na:* <http://www.hrleksikon.info/definicija/tekucina.html>,
Pristupio: 2016-08-03.
- [19] U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB): Barton Solvents Explosions and Fire – Investigation Report,
Dostupno na: <http://www.csb.gov/file.aspx?DocumentId=367>, *Pristupio:* 2016-06-27.
- [20] U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB): Bethune Point Wastewater Plant Explosion – Investigation Report,
Dostupno na: http://www.csb.gov/assets/1/19/Bethune_Final_Report.pdf,
Pristupio: 2016-06-27.

8. PRILOZI

8.1 POPIS SIMBOLA (KORIŠTENIH AKRONIMA)

ATG	<i>engl.</i> automatic tank gauging system (uređaj za pokazivanje razine napunjenosti spremnika)
BPA	British Pipeline Agency Ltd. (Britanska naftovodna kompanija)
CDM	<i>engl.</i> Camp Dresser & McKee Inc. (multinacionalna savjetodavna, inženjering i građevinska kompanija specijalizirana za upravljanje vodama)
CSB	<i>engl.</i> Chemical Safety and Hazard Investigation Board (Odbor za istraživanje kemijske sigurnosti i opasnosti – neovisna je agencija američke vlade zadužena za istraživanje uzroka slučajeva nesreća u kemijskoj i naftnoj industriji)
DGZ	donja granica zapaljivosti
DN	Diamètre Nominal, osnova za standardizaciju cijevi koja označava promjer cijevi i cijevnih elemenata
dP_e	brzina rasta tlaka eksplozije
dt_e	brzina rasta temperature eksplozije
DUiP (engl. C&E)	dijagram uzroka i posljedice (Cause and Effect Diagram)
EA	<i>engl.</i> The Environment Agency (Agencija za zaštitu okoliša u UK)
E_i	toplinska energija izvora
EMZ	elektromagnetsko i ionizirajuće zračenje
E_p	energija paljenja
E_{pmin}	minimalna energija prisilnog paljenja
E_{pr}	energija procesa
GGZ	gornja granica zapaljivosti
HOSL	Hertfordshire Oil Storage Ltd
IGK (engl. LOI)	indeks graničnog kisika (limiting oxygen index)
IHLS	<i>engl.</i> independent high-level switch (uređaj za osiguranje od prepunjivanja spremnika)
IRIC	<i>engl.</i> Indian River Industrial Contractors (građevinska kompanija)
MES	minsko-eksplozivna sredstva
MESR	maksimalni eksperimentalni sigurnosni raspor
MNP	minimalna napetost paljenja
MSP	minimalna struja paljenja
NFPA	<i>engl.</i> National Fire Protection Association (američko „Nacionalno udruženje za zaštitu od požara“)
OSHA	<i>engl.</i> Occupational Safety and Health Administration (američka Uprava za zaštitu na radu i zaštitu zdravlja)
P_{def}	područje deflagrabilnosti
P_{det}	područje detonabilnosti
P_{dgz}	tlak donje granice zapaljivosti

PE	područje eksplozivnosti
PEH	požari, eksplozije i tehnološke havarije
P_{ggz}	tlak gornje granice zapaljivosti
P_{max}	maksimalni tlak
PZ	područje zapaljivosti
SIS	sustav instrumentirane sigurnosti
T_{dgz}	temperatura donje granice zapaljivosti
T_g	temperatura izgaranja
T_{ggz}	temperatura gornje granice zapaljivosti
T_i	temperatura izvora
T_p	temperatura paljenja
T_{pl}	temperatura plamena
T_{plšta}	temperatura plamišta
T_{pp}	temperatura iniciranog (prisilnog) paljenja
T_{pr}	temperatura procesa
T_{sp}	temperatura samopaljenja
T_{st}	temperatura ledišta/stiništa
T_{szp}	temperatura tinjanja, samozagrijavanja, samozapaljenja
T_t	temperatura tališta
T_v	temperatura vrelišta/rosišta
v	brzina
VF	visoka frekvencija EMZ
VM&P naphtha	„ <i>Varnish Makers and Painters</i> “ <i>naphtha</i> , zapaljiva kapljevinna na bazi nafte koja se koristi kao razrjeđivač boja i lakova
VVF	vrlo visoka frekvencija EMZ
ΔH_c	toplina izgaranja
ΔH_e	toplina eksplozije
ρ	gustoća

8.2 POPIS SLIKA

	Stranica
Slika 1: Isparavanje i vrenje kapljevine.....	4
Slika 2: Gorenje zapaljivih kapljevine.....	5
Slika 3: Područje zapaljivosti, eksplozivnosti, deflagrabilnosti i detonabilnosti	6
Slika 4: Prispodoba područja najmanjih energija paljenja gorivih plinova, para gorivih kapljevine i prašina čvrstih gorivih tvari (u zapaljivoj smjesi sa zrakom) s područjima mogućih razina pripalnih energija različitih oblika izboja elektrostatskog naboja	8
Slika 5 (lijevo): Pripalno djelovanje izboja statičkog elektriciteta prilikom utakanja zapaljive kapljevine bez prethodnog uzemljivanja svih dijelova sustava	8
Slika 6 (desno): Autogeno rezanje i zavarivanje pomoću acetilena ili vodika i O ₂ , čije iskre vrlo lako/uspješno pale (pripaljuju) zapaljive/eksplozivne smjese svih gorivih plinova i para sa zrakom kojima je minimalna energija paljenja ispod 0,1 mJ te neke zapaljive smjese gorivih prašina sa zrakom	8
Slika 7: Skica presjeka podzemnog spremnika	9
Slika 8: Podjela prostora ugroženih eksplozivnom atmosferom u zone opasnosti.....	10
Slika 9: Elektromagnetski spektar	28
Slika 10: Načelan prikaz raščlanjivanja mogućih uzroka nastale nesreće s opasnim tvarima ili energijama.....	31
Slika 11: Opća podjela skupina metoda i tehnika za prosudbu mogućih razina rizika	32
Slika 12: Mogući scenariji incidenta ili veće nesreće sa spremnicima ili reaktorima s gorivim plinovima ili kapljevinama	33
Slika 13: Dijagram u obliku „riblje kosti“ i glavne kategorije mogućih uzroka požarno, eksplozijski, havarijski, radno, ekološki ili na ine načine opasnih ili štetnih odstupanja ili pojava u sklopu nekog proizvodnog/tehnološkog/radnog procesa ili operacije.....	35
Slika 14: Primjer načina primjene dijagrama u obliku „riblje kosti“ za postavljanje početnih istražnih pretpostavki o mogućem uzroku nastanka požara, eksplozije i/ili kaznenog djela onečišćenja okoliša sirovom naftom ili naftnim derivatom iz spremnika	36

Slika 15: Sastavnice sustava zaprjeka (barijera) pojavama iniciranja nesmetanog odvijanja scenarija nastanka nesreća s opasnim tvarima	37
Slika 16: Slojevi sigurnosnih i zaštitnih zaprjeka (barijera) na primjeru procesne industrije.	37
Slika 17: Izgled poharanog naftnog terminala nakon ugašenog požara	38
Slika 18: Shematski prikaz mreže naftovoda putem kojih se dopremalo gorivo do naftnog terminala „ <i>Buncefield</i> “	39
Slika 19: Tlocrt naftnog terminala „ <i>Buncefield</i> “ - sekcije i zaštitni pojasevi.....	40
Slika 20: Skica presjeka nadzemnog spremnika s plivajućim krovom	42
Slika 21: Prikaz smjerova curenja benzina i poplavljenih dijelova u sekciji <i>HOSL Zapad</i>	43
Slika 22: Skica presjeka uređaja za osiguranje od prepunjivanja spremnika	45
Slika 23: Spojno mjesto zida sabirnog prostora nakon ugašenog požara	47
Slika 24: Prikaz mjesta razaranja zida sabirnog prostora zbog termičkog rastezanja cijevi pod utjecajem visokih temperatura u požaru.....	47
Slika 25: Gubitak ispune na mjestu prolaska cijevi kroz zid sabirnog prostora.....	48
Slika 26: Mješavina goriva, vode i vatrogasne pjene koja je otekla izvan sabirnih prostora naftnog terminala.....	48
Slika 27: Ostaci vodocrpne stanice nakon ugašenog požara	49
Slika 28: Izgled mjesta nesreće nakon intervencije.....	52
Slika 29: Nadzemni spremnik s opremom.....	55
Slika 30: Dio otkinute PVC cijevi koja je spajala regulator razine s prirubnicama spremnika	56
Slika 31: Prikaz smjera strujanja metanola iz spremnika na kabinu dizalice	56
Slika 32: Položaj radne košare i odušne cijevi	57
Slika 33: Hvatač plamena Protectoseal Model No. 864	58
Slika 34: Metalne pločice hvatača plamena (izvana)	59
Slika 35: Metalne pločice hvatača plamena (iznutra).....	59
Slika 36: Spremnik s otapalom i fotografija primjerka plovka	61

Slika 37 (lijevo): Mjesto zabijanja dijela oplata spremnika u mobilnu kuću	62
Slika 38 (desno): Mjesto pronalaska dišnog ventila na udaljenosti od oko 120 metara.....	62
Slika 39 : Spojno mjesto tijela plovka s vrpcom i mjesto izbijanja iskre statičkog elektriciteta	64
Slika 40 : Uzemljivanje i kratko spajanje	64
Slika 41 : Preinaka koja je trebala biti poduzeta na plovku unutar spremnika s otapalom	66
Slika 42 : Posljedice neodgovornog postupanja menadžmenta postrojenja	68

8.3 POPIS TABLICA

Stranica

Tablica 1 : Svojstva zapaljivosti nekih zapaljivih kapljevina	7
--	---